



# ETCHING METHOD OF ORGANIC FILM, METHOD OF FABRICATION AND PATTERN FORMATION OF SEMICONDUCTOR DEVICE

**Patent number:** JP2001338909  
**Publication date:** 2001-12-07  
**Inventor:** NAKAGAWA HIDEO; HAYASHI TOSHIO; MORIKAWA YASUHIRO  
**Applicant:** MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD;; ULVAC CORP  
**Classification:**  
 - international: H01L21/3065; G03F7/40; H01L21/027; H01L21/768  
 - european:  
**Application number:** JP20000155843 20000526  
**Priority number(s):** JP20000155843 20000526

**Also published as:**

 US6451620 (B2)  
 US2001049150 (A1)

**Abstract of JP2001338909**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To make a cross section of a concavity tapered in etching method of organic film. **SOLUTION:** The organic film is etched with plasma which is generated by a mixed gas. The mixed gas is of a gas of which the main component is a compound of carbon, hydrogen and nitrogen, such as methylamine gas and a gas which contains nitrogenous component, such as nitrogenous gas.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-338909

(P2001-338909A)

(43)公開日 平成13年12月7日(2001.12.7)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト*(参考)
H 0 1 L 21/3065		C 0 3 F 7/40	5 2 1 2 H 0 9 6
G 0 3 F 7/40	5 2 1	H 0 1 L 21/302	F 5 F 0 0 4
H 0 1 L 21/027		21/30	5 6 8 5 F 0 3 3
21/768		21/90	A 5 F 0 4 6

審査請求 有 請求項の数26 O L (全 27 頁)

(21)出願番号 特願2000-155843(P2000-155843)

(22)出願日 平成12年5月26日(2000.5.26)

(71)出願人 000003821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(71)出願人 000231464

株式会社アルバック

神奈川県茅ヶ崎市萩園2500番地

(72)発明者 中川 秀夫

大阪府高槻市幸町1番1号 松下電子工業

株式会社内

(74)代理人 100077931

弁理士 前田 弘 (外7名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 有機膜のエッチング方法、半導体装置の製造方法及びパターンの形成方法

(57)【要約】

【課題】 有機膜のエッチング方法において、有機膜に形成される凹部の断面を順テーパ形状にする。

【解決手段】 有機膜に対して、炭素、水素及び窒素を含む化合物を主成分とするガス例えばメチルアミンガスと、窒素成分を含むガス例えば窒素ガスとの混合ガスから生成されたプラズマを用いてエッチングを行なう。

【特許請求の範囲】

【請求項１】 有機膜に対して、炭素、水素及び窒素を含む化合物を主成分とする第１のガスと窒素成分を含む第２のガスとを含有するエッチングガスから生成されたプラズマを用いてエッチングを行なうことを特徴とする有機膜のエッチング方法。

【請求項２】 前記第２のガスは窒素ガスであることを特徴とする請求項１に記載の有機膜のエッチング方法。

【請求項３】 前記第２のガスは、窒素ガスと水素ガスとの混合ガスであることを特徴とする請求項１に記載の有機膜のエッチング方法。

【請求項４】 前記第２のガスはアンモニアガスであることを特徴とする請求項１に記載の有機膜のエッチング方法。

【請求項５】 前記第２のガスは希ガスをさらに含んでいることを特徴とする請求項１に記載の有機膜のエッチング方法。

【請求項６】 有機膜に対して、炭素、水素及び窒素を含む化合物を主成分とする第１のガスと希ガスを含む第２のガスとを含有するエッチングガスから生成されたプラズマを用いてエッチングを行なうことを特徴とする有機膜のエッチング方法。

【請求項７】 有機膜に対して、炭素、水素及び窒素を含む化合物を主成分とする第１のガスと酸素成分を含む第２のガスとを含有するエッチングガスから生成されたプラズマを用いてエッチングを行なうことを特徴とする有機膜のエッチング方法。

【請求項８】 前記第２のガスは希ガスをさらに含んでいることを特徴とする請求項７に記載の有機膜のエッチング方法。

【請求項９】 半導体基板上に有機膜を形成する工程と、  
前記有機膜の上に、無機化合物を主成分とするマスクパターンを形成する工程と、  
前記有機膜に対して、前記マスクパターンを用いて、炭素、水素及び窒素を含む化合物を主成分とする第１のガスと窒素成分を含む第２のガスとを含有するエッチングガスから生成されたプラズマにより選択的エッチングを行なって、前記有機膜に凹部を形成する工程とを備えていることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項１０】 前記第２のガスは窒素ガスであることを特徴とする請求項９に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項１１】 前記第２のガスは、窒素ガスと水素ガスとの混合ガスであることを特徴とする請求項９に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項１２】 前記第２のガスはアンモニアガスであることを特徴とする請求項９に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項１３】 前記第２のガスは希ガスをさらに含んでいることを特徴とする請求項９に記載の半導体装置の

製造方法。

【請求項１４】 半導体基板上に有機膜を形成する工程と、

前記有機膜の上に、無機化合物を主成分とするマスクパターンを形成する工程と、

前記有機膜に対して、前記マスクパターンを用いて、炭素、水素及び窒素を含む化合物を主成分とする第１のガスと希ガスを含む第２のガスとを含有するエッチングガスから生成されたプラズマにより選択的エッチングを行なって、前記有機膜に凹部を形成する工程とを備えていることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項１５】 半導体基板上に有機膜を形成する工程と、

前記有機膜の上に、無機化合物を主成分とするマスクパターンを形成する工程と、

前記有機膜に対して、前記マスクパターンを用いて、炭素、水素及び窒素を含む化合物を主成分とする第１のガスと酸素成分を含む第２のガスとを含有するエッチングガスから生成されたプラズマにより選択的エッチングを行なって、前記有機膜に凹部を形成する工程とを備えていることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項１６】 前記第２のガスは希ガスをさらに含んでいることを特徴とする請求項１５に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項１７】 前記凹部は、接続孔と該接続孔の上に形成された配線溝とからなり、デュアルダマシン法により導電性膜が埋め込まれることを特徴とする請求項９～１６のいずれか１項に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項１８】 基板上に有機膜を形成する工程と、  
前記有機膜の表面に無機成分を含むマスク層を形成する工程と、

前記有機膜に対して、前記マスク層を用いて、炭素、水素及び窒素を含む化合物を主成分とする第１のガスと窒素成分を含む第２のガスとを含有するエッチングガスから生成されたプラズマにより選択的エッチングを行なって、前記有機膜からなる有機膜パターンを形成する工程とを備えていることを特徴とするパターンの形成方法。

【請求項１９】 前記第２のガスは窒素ガスであることを特徴とする請求項１８に記載のパターンの形成方法。

【請求項２０】 前記第２のガスは、窒素ガスと水素ガスとの混合ガスであることを特徴とする請求項１８に記載のパターンの形成方法。

【請求項２１】 前記第２のガスはアンモニアガスであることを特徴とする請求項１８に記載のパターンの形成方法。

【請求項２２】 前記第２のガスは希ガスをさらに含んでいることを特徴とする請求項１８に記載のパターンの形成方法。

【請求項２３】 基板上に有機膜を形成する工程と、  
前記有機膜の表面に無機成分を含むマスク層を形成する

工程と、

前記有機膜に対して、前記マスク層を用いて、炭素、水素及び窒素を含む化合物を主成分とする第1のガスと希ガスを含む第2のガスとを含有するエッチングガスから生成されたプラズマにより選択的エッチングを行なって、前記有機膜からなる有機膜パターンを形成する工程とを備えていることを特徴とするパターンの形成方法。

【請求項24】 基板上に有機膜を形成する工程と、前記有機膜の表面に無機成分を含むマスク層を形成する工程と、

前記有機膜に対して、前記マスク層を用いて、炭素、水素及び窒素を含む化合物を主成分とする第1のガスと酸素成分を含む第2のガスとを含有するエッチングガスから生成されたプラズマにより選択的エッチングを行なって、前記有機膜からなる有機膜パターンを形成する工程とを備えていることを特徴とするパターンの形成方法。

【請求項25】 前記第2のガスは希ガスをさらに含んでいることを特徴とする請求項24に記載のパターンの形成方法。

【請求項26】 前記マスク層はシリル化層であることを特徴とする請求項18～25のいずれか1項に記載のパターンの形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明に属する技術分野】本発明は、有機膜のエッチング方法、半導体装置の製造方法及びパターンの形成方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体装置の高速化及び低消費電力化を目的に、多層配線の層間絶縁膜の低誘電率化が注目を集めている。特に、有機膜からなる低誘電率膜は回転塗布法及び焼き締め処理により簡便に形成できるため、次世代の層間絶縁膜として非常に有望になってきている。有機低誘電率膜としては、主にアロマテックポリマーをベースとした有機膜が知られている。

【0003】ゲート長が $0.18\mu\text{m}$ 以下である微細なデザインルールを持つデバイスを製造するためには、約 $0.25\mu\text{m}$ 以下の微細な配線加工技術が必要であり、今後ますますデザインルールの微細化が進むものと考えられる。有機膜に対するパターン加工は、通常プラズマエッチングにより行われるが、有機膜に対して $0.25\mu\text{m}$ 以下の微細なパターンを形成することは非常に困難である。

【0004】有機膜に対するプラズマエッチング方法としては、「M.Fukasawa, T.Hasegawa, S.Hirano and S.Kadomura: Proc.Symp.DryProcess, p.175 (1998)」において報告されている $\text{N}_2$ ガス及び $\text{H}_2$ ガスを主成分とするエッチングガスを用いるプロセス、又は、「M.Fukasawa, T.Tatsumi, T.Hasegawa, S.Hirano, K.Miyata and S.Kadomura: Proc.Symp.DryProcess, p. 221 (1999)」で報告

されている $\text{NH}_3$ ガスを主成分とするエッチングガスを用いるプロセス等が知られている。

【0005】(第1の従来例)以下、第1の従来例として、従来のエッチング方法について、日本真空技術(株)製の磁気中性線放電(NLD)プラズマ装置("SiO<sub>2</sub> Etching in magnetic neutral loop discharge plasma": W.Chen, M.Itoh, T.Hayashi and T.Uchida: J.Vac.Sci.Technol., A16 (1998) 1594)を用いて行なった有機膜のエッチング方法により得られた結果を示しながら説明する。

【0006】第1の従来例に係る有機膜のエッチング方法は、 $\text{N}_2$ ガス及び $\text{H}_2$ ガスを主成分とするエッチングガスを用いるプロセスである。我々は、第1の従来例に係る有機膜のエッチング方法を以下に示すエッチング条件で行なった。

【0007】

使用プラズマ装置……NLDプラズマ装置

エッチングガスの標準状態における1分間当たりの体積流量比…… $\text{N}_2 : \text{H}_2 = 50\text{ml} : 50\text{ml}$

アンテナパワ……1000W (13.56MHz)

バイアスパワ……200W (2MHz)

圧力……0.4Pa

基板冷却温度……0℃

エッチング時間……180秒

図16(a)～(d)は、前記のエッチング条件により得られた、有機膜におけるホールの断面SEM写真を示しており、図16(a)、(b)、(c)及び(d)は、それぞれ、 $0.16\mu\text{m}$ 、 $0.18\mu\text{m}$ 、 $0.24\mu\text{m}$ 及び $0.40\mu\text{m}$ の径を持つホールの断面である。図16(a)～(d)において、101はシリコン基板を示し、102は被エッチング膜としての有機膜を示し、103は、有機膜102をエッチングする際のマスクとなるシリコン酸化膜からなるマスクパターンである。また、有機膜102の膜厚は約 $1.02\mu\text{m}$ であり、マスクパターン103の膜厚は約 $240\text{nm}$ である。

【0008】(第2の従来例)ところで、半導体装置の多層配線構造においては、下層配線、層間絶縁膜及び上層配線が順次積層されていると共に、下層配線と上層配線とが層間絶縁膜に形成された柱状のプラグにより接続されている。また、近時においては、層間絶縁膜に接続孔又は配線溝を形成した後、該接続孔又は配線溝に金属材料を埋め込んで接続プラグ又は金属配線を形成するシングルダマシン法、又は、層間絶縁膜に接続孔及び配線溝を形成した後、該接続孔及び配線溝に金属材料を埋め込んで接続プラグ及び金属配線を同時に形成するデュアルダマシン法が開発されている。

【0009】以下、第2の従来例として、従来のシングルダマシン法について、図17(a)～(e)及び図18(a)～(d)を参照しながら説明する。

【0010】まず、図17(a)に示すように、半導体基板211の上に、第1のバリアメタル層212、金属膜213及び第2のバリアメタル層214の積層膜からなる金属配線を形成した後、図17(b)に示すように、金属配線の上に有機膜215を形成し、その後、図17(c)に示すように、有機膜215の上にシリコン酸化膜216を形成する。

【0011】次に、周知のリソグラフィ技術を用いて、図17(d)に示すように、シリコン酸化膜216の上にレジストパターン217を形成した後、シリコン酸化膜216に対してレジストパターン217をマスクとしてプラズマエッチング(ドライエッチング)を行なうと、図17(e)に示すように、シリコン酸化膜216からなるマスクパターン216Aを形成する。

【0012】次に、有機膜215に対してマスクパターン216Aを用いて、第1の従来例に係るエッチングを行なうと、図18(a)に示すように、有機膜215に接続孔又は配線溝からなる凹部218を形成する。レジストパターン217は有機化合物からなるので、有機膜215に対するエッチング工程において除去される。

【0013】次に、図18(b)に示すように、スパッタ法により、凹部218の壁面にTiN又はTa<sub>2</sub>N等からなる第3のバリアメタル層219を薄く形成する。

【0014】次に、化学蒸着(CVD: Chemical Vapor Deposition)法又はメッキ法を用いて、図18(c)に示すように、凹部218の内部に導電性膜222を埋め込んだ後、化学機械研磨(CMP)法により、導電性膜222における凹部218の外側に露出している部分を除去すると、図18(d)に示すように、接続プラグ又は金属配線223が得られる。

【0015】(第3の従来例)以下、第3の従来例として、従来のデュアルダマシン法について、図19(a)～(d)、図20(a)～(c)及び図21(a)～(c)を参照しながら説明する。

【0016】まず、図19(a)に示すように、半導体基板231の上に、第1のバリアメタル層232、金属膜233及び第2のバリアメタル層234の積層膜からなる下層の金属配線を形成した後、図19(b)に示すように、下層の金属配線の上に第1の有機膜235を形成し、その後、図19(c)に示すように、第1の有機膜235の上に第1のシリコン酸化膜216を形成する。

【0017】次に、周知のリソグラフィ技術を用いて、図19(d)に示すように、第1のシリコン酸化膜236の上に、接続孔形成用開口部を有する第1のレジストパターン237を形成する。次に、第1のシリコン酸化膜236に対して第1のレジストパターン237をマスクとしてプラズマエッチング(ドライエッチング)を行なうと、図20(a)に示すように、第1のシリコン酸化膜236からなる第1のマスクパターン236Aを形

成すると共に第1のレジストパターン237を除去する。その後、第1の有機膜235にダメージを与えないように第1のマスクパターン236Aの上面を洗浄する。

【0018】次に、図20(b)に示すように、第1のマスクパターン236Aの上に第2の有機膜238を形成した後、該第2の有機膜238の上に第2のシリコン酸化膜239を形成する。

【0019】次に、図20(c)に示すように、第2のシリコン酸化膜239の上に、配線溝形成用開口部を有する第2のレジストパターン240を形成した後、第2のシリコン酸化膜239に対して第2のレジストパターン240をマスクとしてエッチングを行なうと、図21(a)に示すように、第2のシリコン酸化膜239からなる第2のマスクパターン239Aを形成する。

【0020】次に、第2の有機膜238及び第1の有機膜235に対して、第1の従来例に係るエッチングを行なうと、図21(b)に示すように、第2の有機膜238に第2のマスクパターン239Aを転写することにより配線溝241を形成すると共に、第1の有機膜235に第1のマスクパターン236Aを転写することにより接続孔242を形成する。図21(b)は、第1の有機膜235に接続孔242が形成される途中の状態を示しており、エッチングガスと第1の有機膜235との反応生成物に、第1のマスクパターン236Aから放出されたシリコンが含まれてなる堆積物が接続孔242の壁面に付着し、該堆積物からなる障壁243が形成される。

【0021】次に、第2の有機膜238及び第1の有機膜235に対して第1の従来例に係るエッチングを継続して行なうと、図21(c)に示すように、第1の有機膜235に接続孔242を形成した後、第2のバリアメタル層234の上に残存している第1の有機膜235を完全に除去するべく、第2のバリアメタル層234に対してオーバーエッチングを行なう。尚、エッチング工程及びオーバーエッチング工程において、第2のレジストパターン240は完全に除去される。

【0022】次に、図示は省略しているが、第2の従来例と同様、配線溝241及び接続孔242の壁面に第3のバリアメタル層を全面に亘って薄く形成した後、配線溝241及び接続孔242に導電性膜を埋め込み、その後、該導電性膜における配線溝241の外側に露出している部分をCMP法により除去すると、接続プラグ及び上層の金属配線が得られる。

【0023】(第4の従来例)ところで、有機膜に対してドライ現像(プラズマエッチング)を行なうマスクパターンを形成する方法としては、表層イメージング(TSI: Top Surface Imaging)プロセス及び3層レジストプロセス等が知られている。

【0024】表層イメージングプロセスは、パターン露光された有機膜の表面にシリル化処理を行なうと、有機

膜の露光部又は未露光部の表面にシリル化層を選択的に形成した後、有機膜に対してシリル化層をマスクとするドライ現像（プラズマエッチング）を行なってレジストパターンを形成する技術である。

【0025】以下、第4の従来例として、ドライ現像を用いるパターン形成方法（表層イメージングプロセス）について、図22(a)～(d)を参照しながら説明する。

【0026】まず、図22(a)に示すように、半導体基板251上に有機膜252を形成した後、該有機膜252上に被シリル化層253を形成する。

【0027】次に、図22(b)に示すように、露光光254を被シリル化層253に対して、光を選択的に通過させるフォトマスク255を介して照射することにより、被シリル化層253に選択的に変質層256を形成する。

【0028】次に、図22(c)に示すように、基板温度を上昇させた状態で、被シリル化層253の表面に気体状のシリル化剤257を供給して、被シリル化層253の非変質層（変質層256以外の部分）を選択的にシリル化することにより、シリル化層258を形成する。尚、非変質層をシリル化する代わりに、変質層256をシリル化してシリル化層258を形成してもよい。

【0029】次に、有機膜252にシリル化層258をマスクとして、第1の従来例に係るエッチングを行なって、図22(d)に示すように、有機膜252からなる有機膜パターン252A（マスクパターン）を形成する。

【0030】（第5の従来例）以下、第5の従来例として、ドライ現像を用いるパターン形成方法（3層レジストプロセス）について説明する。

【0031】まず、半導体基板上に有機膜及びシリコン酸化膜を順次形成した後、シリコン酸化膜の上に薄いレジストパターンを形成する。

【0032】次に、シリコン酸化膜に対してレジストパターンをマスクにしてプラズマエッチングを行なって、シリコン酸化膜にレジストパターンを転写してマスクパターンを形成した後、有機膜に対してマスクパターンを用いてドライ現像を行なって、有機膜からなり高アスペクトを有する微細な有機膜パターンを形成する。

【0033】次に、マスクパターン及び有機膜パターンからなる2層のマスクパターンを用いて、半導体基板上の被エッチング膜に対してエッチング加工を行なうことにより、単層レジストでは解像できないような微細なパターンを被エッチング膜に形成することが可能になる。

【0034】我々は、第5の従来例として、有機膜に対するエッチング方法を、 $O_2$  ガスを含むエッチングガスを用いて以下に示すエッチング条件で行なった。

【0035】

使用プラズマ装置……NLDプラズマ装置

エッチングガスの標準状態における1分間当たりの流量…… $O_2 = 90 ml$

アンテナパワ……1000W (13.56MHz)

バイアスパワ……400W (2MHz)

圧力……0.133Pa

基板冷却温度……0℃

エッチング時間……4分

図23(a)、(b)は、第5の従来例に係るパターン形成方法により得られた、有機膜パターンにおけるホールの断面SEM写真を示しており、図23(a)、

(b)は、それぞれ、0.18 $\mu m$ 、0.4 $\mu m$ の径を持つホールの断面である。図23(a)、(b)において、271はシリコン基板を示し、272は有機膜パターンを示し、273はシリコン酸化膜からなるマスクパターンを示している。尚、マスクパターン273の上に存在していたレジストパターンは、ドライ現像により有機膜パターンを形成する際に消滅するため、シリコン基板271の上に堆積された被エッチング膜に対するエッチング工程は、有機膜パターン272及びマスクパターン273からなる2層のマスクパターンを用いて行なう。

【0036】

【発明が解決しようとする課題】（第1の従来例の問題点）図16(a)～(d)に示すように、一見すると、エッチング形状（ホールの断面形状）はかなり良好な異方性形状（垂直形状）が実現されているように見える。

【0037】しかしながら、図16(a)～(d)をよく見るとボウイング形状であることが分かる。ボウイング形状とは弓なりに膨らんだオーバハング状になることを意味する。図16(a)～(d)から明らかなように、エッチングにより形成された有機膜102のホールの径はマスクパターン103の開口径よりも大きくなっていることが分かる。

【0038】従って、第1の従来例に係る有機膜のエッチング方法によると、有機膜102に形成されるホールの断面を順テーパ形状にできないという問題がある。

【0039】（第2の従来例の問題点）第2の従来例において、有機膜215に対して第1の従来例に係るエッチングを行なうと、図18(a)に示すように、凹部218の断面はボウイング形状となる。

【0040】凹部218の断面がボウイング形状であるため、凹部218の壁面に第3のバリアメタル層219を薄く形成すると、図18(b)に示すように、凹部218の壁面に一様に第3のバリアメタル層219を形成することができない。すなわち、凹部218の壁面におけるマスクパターン216Aの直下の部分220及び凹部218の底部221に、第3のバリアメタル層219の分離部（断線部）ができてしまう。

【0041】このため、CVD法又はメッキ法により凹部218に導電性膜222を埋め込んで、接続プラグ又

は金属配線223を形成する場合に、導電性膜222の埋め込みが均一にできない。すなわち、前述したように、凹部218の壁面におけるマスクパターン216Aの直下の部分220及び凹部218の底部221において第3のバリアメタル層219に分離部ができると、第3のバリアメタル層219は電氣的に絶縁状態つまり分離状態になるため、例えば電解メッキ法により銅からなる導電性膜222を埋め込むと、第3のバリアメタル層219における凹部218の内部の部位に電位を供給できないので、凹部218に導電性膜222を均一に埋め込むことができない。また、凹部218にタングステンからなる導電性膜222を埋め込む場合には、第3のバリアメタル層219の分離部においてタングステン膜が成長異常を起こすので、凹部218に導電性膜222を均一に埋め込むことができない。このように、凹部218に導電性膜222を均一に埋め込むことができないため、接続プラグ又は金属配線223が不良になるので、電気特性が劣化して半導体装置の信頼性の劣化を招くという問題がある。

【0042】(第3の従来例の問題点) 第3の従来例において、第2の有機膜238及び第1の有機膜235に対して第1の従来例に係るエッチングを行なうと、図21(b)に示すように、配線溝241及び接続孔242の断面がボウイング形状になる。

【0043】また、前述したように、反応生成物にシリコンが含まれてなる堆積物が接続孔242の壁面に付着すると共に、第2のバリアメタル層234に対して行なわれるオーバーエッチング時に、接続孔242を形成するための実効的なエッチングマスクになっている第1のマスクパターン236Aがエッチング時のイオンスパッタリングによりエッチングされる。このため、図21(c)に示すように、第1のマスクパターン236Aの開口部が拡大するので、第1の有機膜235における接続孔242の壁面のボウイング形状が一層促進されると共に、接続孔242の壁面が後退するため、エッチング時の反応生成物にシリコンが含まれてなる堆積物からなるクラウン状の障壁243が接続孔242の底部に形成されてしまう。

【0044】従って、CVD法又はメッキ法により、配線溝241及び接続孔242に導電性膜を埋め込んで、接続プラグ又は金属配線を形成する場合に、導電性膜を均一に埋め込むことができないと共に、接続孔242に埋め込まれた接続プラグと下層の金属配線との間に接続不良が発生するので、デュアルダマシン法により多層配線を形成することが困難になるという問題がある。

【0045】(第4の従来例の問題点) 第4の従来例において、有機膜252に対して第1の従来例に係るエッチングを行なうと、図22(d)に示すように、有機膜パターン252Aの開口部259の断面はボウイング形状になってしまう。このようなボウイング形状のホール

を持つ有機膜パターン252Aをマスクパターンとしてエッチングを行なうと、高精度なエッチング加工は困難である。

【0046】(第5の従来例の問題点) 第5の従来例においては、有機膜に対して $O_2$ ガスを主成分とするエッチングガスを用いるプラズマエッチングによりドライ現像を行なうため、図23(a)、(b)に示すように、有機膜パターン272に形成されたホールの径はマスクパターン273の開口部の径よりも大きくなると共に、有機膜パターン272に形成されたホールの断面はボウイング形状になる。被エッチング膜に対してボウイング形状のホールを持つ有機膜パターン272を用いてエッチングを行なうと、高精度なエッチング加工は困難である。

【0047】そこで、有機膜パターン272のホールのボウイング形状を抑制するために、基板冷却温度(冷却冷媒温度)を氷点下 $20^{\circ}C$ ～氷点下 $50^{\circ}C$ に設定して、実際の基板温度を氷点下に保持した状態で、有機膜に対してドライ現像を行なう方法が提案されている。

【0048】ところが、このような低温を実現するためには、膨大な費用及び大掛かりな装置が必要になるため、装置コストの増大及び装置安定性の低下という問題が発生する。

【0049】従って、第5の従来例によると、有機膜パターンのホールの断面を順テーパ形状にすることは不可能である。

【0050】尚、第5の従来例(3層レジストプロセス)における問題は、第4の従来例(表面イメージングプロセス)においても当然に発生する。

【0051】前記に鑑み、本発明は、有機膜のエッチング方法において、有機膜に形成される凹部の断面を順テーパ形状にできるようにすることを第1の目的とする。

【0052】また、本発明は、プラズマエッチングにより有機膜に形成される凹部の断面を順テーパ形状にして、凹部の壁面にバリアメタル層を一樣に形成できるようにし、これによって、凹部に導電性膜を均一に埋め込むようにすることを第2の目的とする。

【0053】また、本発明は、有機膜に対するドライ現像(プラズマエッチング)において、順テーパ形状の断面の開口部を有する有機膜パターンが形成できるようにして、高精度で且つプロセスマージンが大きいエッチングができるようにすることを第3の目的とする。

【0054】

【課題を解決するための手段】本発明に係る第1の有機膜のエッチング方法は、有機膜に対して、炭素、水素及び窒素を含む化合物を主成分とする第1のガスと窒素成分を含む第2のガスとを含有するエッチングガスから生成されたプラズマを用いてエッチングを行なう。

【0055】第1の有機膜のエッチング方法によると、エッチングガスに、炭素、水素及び窒素を含む化合物が



含まれているため、エッチングガスから生成されたプラズマ中に、エッチング表面でポリマーを形成し易い $\text{CH}_x$  ( $x=1, 2, 3$ ) のラジカルが存在し、有機膜に形成される凹部の壁面に付着した $\text{CH}_x$  ラジカルからなるポリマーは、イオンアシスト反応を阻止する側壁保護膜として働くので、凹部の断面は順テーパ形状になる。また、プラズマ中に $\text{N}$ イオンを供給する窒素成分がエッチングガスに含まれているため、ほぼ一定のエッチングレートを維持することができると共に、窒素成分の混合割合を調整することにより凹部の順テーパ形状の角度を制御することが可能になる。従って、有機膜に順テーパ形状の凹部を形成できると共に、ほぼ一定のエッチングレートを維持しながら順テーパ形状の角度を制御することができる。

【0056】第1の有機膜のエッチング方法において、第2のガスは窒素ガスであることが好ましい。

【0057】このようにすると、プラズマ中に $\text{N}$ イオン及び $\text{N}_2$  イオンを供給できるので、凹部の順テーパ形状の角度の制御が容易になる。

【0058】第1の有機膜のエッチング方法において、第2のガスは、窒素ガスと水素ガスとの混合ガスであることが好ましい。

【0059】このようにすると、凹部の順テーパ形状の角度の制御性を維持したまま、エッチングレートを向上させることができる。

【0060】第1の有機膜のエッチング方法において、第2のガスはアンモニアガスであることが好ましい。

【0061】このようにすると、凹部の順テーパ形状の角度の制御性の確保とエッチングレートの向上とを同時に実現できる。

【0062】第1の有機膜のエッチング方法において、第2のガスは希ガスをさらに含んでいることが好ましい。

【0063】このようにすると、反応室内の壁面に形成される堆積膜を低減できるため、反応室をクリーニングする頻度を低減できるので、反応室を安定な状態に保つことができる。また、凹部の断面をより確実に順テーパ形状にすることもできる。

【0064】本発明に係る第2の有機膜のエッチング方法は、有機膜に対して、炭素、水素及び窒素を含む化合物を主成分とする第1のガスと希ガスを含む第2のガスとを含有するエッチングガスから生成されたプラズマを用いてエッチングを行なう。

【0065】第2の有機膜のエッチング方法によると、エッチングガスに、炭素、水素及び窒素を含む化合物と希ガスとが含まれているため、有機膜に形成される凹部の断面を確実に順テーパ形状にできる。また、反応室内の壁面に形成される堆積膜を低減できるため、反応室をクリーニングする頻度を低減できるので、反応室を長期間に亘って安定な状態に保つことができる。

【0066】本発明に係る第3の有機膜のエッチング方法は、有機膜に対して、炭素、水素及び窒素を含む化合物を主成分とする第1のガスと酸素成分を含む第2のガスとを含有するエッチングガスから生成されたプラズマを用いてエッチングを行なう。

【0067】第3の有機膜のエッチング方法によると、エッチングガスに、炭素、水素及び窒素を含む化合物が含まれているため、有機膜に形成される凹部の断面は順テーパ形状になる。また、エッチングガスに酸素成分が含まれているため、エッチングレートが向上する。従って、エッチングレートを向上させながら、有機膜に形成される凹部の断面を順テーパ形状にすることができる。

【0068】第3の有機膜のエッチング方法において、第2のガスは希ガスをさらに含んでいることが好ましい。

【0069】このようにすると、有機膜に形成される凹部の断面をより確実に順テーパ形状にすることができる。と共に、反応室内の壁面に形成される堆積膜を低減して反応室をクリーニングする頻度を低減できるので、反応室を安定な状態に保つことができる。

【0070】本発明に係る第1の半導体装置の製造方法は、半導体基板上に有機膜を形成する工程と、有機膜の上に、無機化合物を主成分とするマスクパターンを形成する工程と、有機膜に対して、マスクパターンを用いて、炭素、水素及び窒素を含む化合物を主成分とする第1のガスと窒素成分を含む第2のガスとを含有するエッチングガスから生成されたプラズマにより選択的エッチングを行なって、有機膜に凹部を形成する工程とを備えている。

【0071】第1の半導体装置の製造方法によると、前述の第1の有機膜のエッチング方法を用いて有機膜に凹部を形成するため、有機膜に順テーパ形状の断面を持つ凹部を形成することができ、凹部の断面がボウイング形状にならない。このため、凹部の壁面にバリア層を分離部が形成されることなく均一に形成できるので、凹部に導電性膜を確実に埋め込むことができ、これによって、電気的特性に優れた接続プラグ又は埋め込み配線を形成することができる。また、プラズマ中に $\text{N}$ イオンを供給する窒素成分がエッチングガスに含まれているため、窒素成分の混合割合を調整することにより、凹部の順テーパ形状の角度を制御することが可能になる。

【0072】第1の半導体装置の製造方法において、第2のガスは窒素ガスであることが好ましい。

【0073】このようにすると、プラズマ中に $\text{N}$ イオン及び $\text{N}_2$  イオンを供給できるので、凹部の順テーパ形状の角度の制御が容易になる。

【0074】第1の半導体装置の製造方法において、第2のガスは、窒素ガスと水素ガスとの混合ガスであることが好ましい。

【0075】このようにすると、凹部の順テーパ形状の



角度の制御性を維持したまま、エッチングレートを上させることができる。

【0076】第1の半導体装置の製造方法において、第2のガスはアンモニアガスであることが好ましい。

【0077】このようにすると、凹部の順テーパ形状の角度の制御性の確保とエッチングレートの向上とを同時に実現できる。

【0078】第1の半導体装置の製造方法において、第2のガスは希ガスをさらに含んでいることが好ましい。

【0079】このようにすると、反応室の内壁面に形成される堆積膜を低減できるため、反応室をクリーニングする頻度を低減できるので、反応室を長期間に亘って安定な状態に保つことができる。また、凹部の断面をより確実に順テーパ形状にして、電気的特性が一層優れた接続プラグ又は埋め込み配線を形成することができる。

【0080】本発明に係る第2の半導体装置の製造方法は、半導体基板上に有機膜を形成する工程と、有機膜の上に、無機化合物を主成分とするマスクパターンを形成する工程と、有機膜に対して、マスクパターンを用いて、炭素、水素及び窒素を含む化合物を主成分とする第1のガスと希ガスを含む第2のガスとを含有するエッチングガスから生成されたプラズマにより選択的エッチングを行なって、有機膜に凹部を形成する工程とを備えている。

【0081】第2の半導体装置の製造方法によると、前述の第2の有機膜のエッチング方法を用いて有機膜に凹部を形成するため、有機膜に順テーパ形状の断面を持つ凹部を形成できるので、凹部の壁面にバリア層を分離部が形成されることなく均一に形成することができる。このため、凹部に導電性膜を確実に埋め込むことができるので、電気的特性に優れた接続プラグ又は埋め込み配線を形成することができる。また、反応室の内壁面に形成される堆積膜を低減できるため、反応室をクリーニングする頻度を低減でき、これによって、反応室を安定な状態に保つことができる。

【0082】本発明に係る第3の半導体装置の製造方法は、半導体基板上に有機膜を形成する工程と、有機膜の上に、無機化合物を主成分とするマスクパターンを形成する工程と、有機膜に対して、マスクパターンを用いて、炭素、水素及び窒素を含む化合物を主成分とする第1のガスと酸素成分を含む第2のガスとを含有するエッチングガスから生成されたプラズマにより選択的エッチングを行なって、有機膜に凹部を形成する工程とを備えている。

【0083】第3の半導体装置の製造方法によると、前述の第3の有機膜のエッチング方法を用いて有機膜に凹部を形成するため、有機膜に順テーパ形状の断面を持つ凹部を形成できるので、凹部の壁面にバリア層を分離部が形成されることなく均一に形成することができる。このため、凹部に導電性膜を確実に埋め込むことができる

ので、電気的特性に優れた接続プラグ又は埋め込み配線を形成することができる。また、エッチングガスに酸素成分が含まれているため、エッチングレートを向上させることができる。

【0084】第3の半導体装置の製造方法において、第2のガスは希ガスをさらに含んでいることが好ましい。

【0085】このようにすると、反応室の内壁面に形成される堆積膜を低減できるため、反応室をクリーニングする頻度を低減できるので、反応室を安定な状態に保つことができる。また、凹部の断面をより確実に順テーパ形状にして、電気的特性が一層優れた接続プラグ又は埋め込み配線を形成することができる。

【0086】第1～第3の半導体装置の製造方法において、凹部は、接続孔と該接続孔の上に形成された配線溝とからなり、デュアルダマシン法により導電性膜が埋め込まれるものであることが好ましい。

【0087】このようにすると、バリア層を接続孔及び配線溝の壁面に分離部（断線部）を形成させることなく均一に形成できると共に、接続孔の底面にクラウン状の障壁が形成されなくなる。このため、接続孔及び配線溝に導電性膜を確実に埋め込むので、接続孔に埋め込まれた接続プラグ及び配線溝に埋め込まれた金属配線の電気的特性を向上させることができると共に、接続プラグと下層の金属配線との間に接続不良が発生しなくなる。従って、電気的特性に優れた多層配線をデュアルダマシン法により形成することが可能になる。

【0088】本発明に係る第1のパターンの形成方法は、基板上に有機膜を形成する工程と、有機膜の表面に無機成分を含むマスク層を形成する工程と、有機膜に対して、マスク層を用いて、炭素、水素及び窒素を含む化合物を主成分とする第1のガスと窒素成分を含む第2のガスとを含有するエッチングガスから生成されたプラズマにより選択的エッチングを行なって、有機膜からなる有機膜パターンを形成する工程とを備えている。

【0089】第1のパターンの形成方法によると、前述の第1の有機膜のエッチング方法を用いて有機膜に開口部を形成するため、ほぼ一定のエッチングレートを維持しながら、有機膜に順テーパ形状の断面を持つ開口部を形成することができる。すなわち、有機膜パターンの開口部の断面形状がボウイング状にならないので、被エッチング膜に対して高精度で且つプロセスマージンが大きいエッチングを行なうことができる。

【0090】第1のパターンの形成方法において、第2のガスは窒素ガスであることが好ましい。

【0091】このようにすると、プラズマ中にNイオン及びN<sub>2</sub>イオンを供給できるので、有機膜に形成される開口部の順テーパ形状の角度の制御が容易になる。

【0092】第1のパターンの形成方法において、第2のガスは、窒素ガスと水素ガスとの混合ガスであることが好ましい。

【0093】このようにすると、凹部の順テーパー形状の角度の制御性を維持したまま、エッチングレートを上向きさせることができる。

【0094】第1のパターンの形成方法において、第2のガスはアンモニアガスであることが好ましい。

【0095】このようにすると、凹部の順テーパー形状の角度の制御性の確保とエッチングレートの向上とを同時に実現できる。

【0096】第1のパターンの形成方法において、第2のガスは希ガスをさらに含んでいることが好ましい。

【0097】このようにすると、反応室内の内壁面に形成される堆積膜を低減できるため、反応室をクリーニングする頻度を低減できるので、反応室を安定な状態に保つことができる。また、有機膜に形成される開口部の断面をより確実に順テーパー形状にして、被エッチング膜に対してより高精度で且つよりプロセスマージンが大きいエッチングを行なうことができる。

【0098】本発明に係る第2のパターンの形成方法は、基板上に有機膜を形成する工程と、有機膜の表面に無機成分を含むマスク層を形成する工程と、有機膜に対して、マスク層を用いて、炭素、水素及び窒素を含む化合物を主成分とする第1のガスと希ガスを含む第2のガスとを含有するエッチングガスから生成されたプラズマにより選択的エッチングを行なって、有機膜からなる有機膜パターンを形成する工程とを備えている。

【0099】第2のパターンの形成方法によると、前述の第2の有機膜のエッチング方法を用いて有機膜に開口部を形成するため、有機膜に順テーパー形状の断面を持つ開口部を形成することができ、有機膜パターンの開口部の断面形状がボウイング状にならないので、被エッチング膜に対して高精度で且つプロセスマージンが大きいエッチングを行なうことができる。また、反応室内の内壁面に形成される堆積膜を低減できるため、反応室をクリーニングする頻度を低減でき、これによって、反応室を安定な状態に保つことができる。

【0100】本発明に係る第3のパターン形成方法は、基板上に有機膜を形成する工程と、有機膜の表面に無機成分を含むマスク層を形成する工程と、有機膜に対して、マスク層を用いて、炭素、水素及び窒素を含む化合物を主成分とする第1のガスと酸素成分を含む第2のガスとを含有するエッチングガスから生成されたプラズマにより選択的エッチングを行なって、有機膜からなる有機膜パターンを形成する工程とを備えている。

【0101】第3のパターンの形成方法によると、前述の第3の有機膜のエッチング方法を用いて有機膜に開口部を形成するため、有機膜に順テーパー形状の断面を持つ開口部を形成することができ、有機膜パターンの開口部の断面形状がボウイング状にならないので、被エッチング膜に対して高精度で且つプロセスマージンが大きいエッチングを行なうことができる。また、エッチングガス

に酸素成分が含まれているため、有機膜パターンを形成する際のエッチングレートを向上させることができる。

【0102】第3のパターンの形成方法において、第2のガスは希ガスをさらに含んでいることが好ましい。

【0103】このようにすると、反応室内の内壁面に形成される堆積膜を低減できるため、反応室をクリーニングする頻度を低減できるので、反応室を安定な状態に保つことができる。また、有機膜に形成される開口部の断面をより確実に順テーパー形状にして、有機膜に対してより高精度で且つよりプロセスマージンが大きいエッチングを行なうことができる。

【0104】第1～第3のパターンの形成方法において、マスク層はシリル化層であることが好ましい。

【0105】このようにすると、表層イメージングプロセスにより、有機膜パターンに順テーパー形状の開口部を形成することができる。

【0106】

【発明の実施の形態】(第1の実施形態)以下、本発明の第1の実施形態に係る有機膜のエッチング方法について、図1(a)～(f)、図2(a)、(b)及び図3を参照しながら説明する。

【0107】第1の実施形態に係る有機膜のエッチング方法は、エッチングガスとしてメチルアミン(Methylamine:  $\text{CH}_3\text{NH}_2$ )と窒素ガス( $\text{N}_2$ )との混合ガスを用い、該混合ガスから生成されたプラズマにより有機膜をエッチングする方法である。以下、第1の実施形態におけるエッチング条件の一例を示す。

【0108】

使用プラズマ装置……NLDプラズマ装置

エッチングガスの種類及び標準状態における1分間当たりの流量…… $\text{CH}_3\text{NH}_2 : \text{N}_2 = x \text{ ml} : (100 - x) \text{ ml}$

アンテナパワ……1000W(13.56MHz)

バイアスパワ……200W(2MHz)

圧力……0.4Pa

基板冷却温度……0℃

エッチング時間……180秒

図1(a)は、第1の実施形態に係る有機膜のエッチング方法により得られるホールの概略断面構造を示し、図1(b)～(f)は、第1の実施形態に係る有機膜のエッチング方法により得られたホールの断面SEM写真を示している。図1(a)～(f)において、1はシリコン基板を示し、2は被エッチング膜としての有機膜を示し、3はシリコン酸化膜からなるマスクパターンを示している。また、図1(b)、(c)、(d)、(e)及び(f)は、エッチングガス中のメチルアミンガス及び窒素ガスの標準状態における1分間当たりの流量(ml)比つまり $\text{CH}_3\text{NH}_2 : \text{N}_2 = 100 \text{ ml} : 0 \text{ ml}$ 、 $70 \text{ ml} : 30 \text{ ml}$ 、 $50 \text{ ml} : 50 \text{ ml}$ 、 $30 \text{ ml} : 70 \text{ ml}$ 及び $0 \text{ ml} : 100 \text{ ml}$ の場合について示して

いる。尚、エッチングの開始時には、マスクパターン3の上に約 $0.4\mu\text{m}$ の厚さを持つレジストパターンが形成されていたが、該レジストパターンは有機膜2に対するエッチング工程の途中で消滅した。もっとも、図1(f)に示す場合には、レジストパターンが残存している。

【0109】第1の実施形態に係るパターン形成方法においては、有機膜2の厚さは約 $1.2\mu\text{m}$ であり、マスクパターン3の厚さは約 $240\text{nm}$ であり、ホール径は $0.24\mu\text{m}$ である。

【0110】図1(b)～(f)から分かるように、 $x=50\sim 100\text{ml}$ の条件つまりメチルアミンの混合割合が約50%以上の条件において、窒素ガスの混合割合を変化させることにより、順テーパー形状の角度を所望値に調整することができる。

【0111】通常、有機膜は、炭素原子と水素原子とからなるポリマーが主たる構成要素で、第1の従来例のように、有機膜に窒素又は水素のラジカル及びイオンが飛来することによって有機膜がエッチングされることから考えると、エッチング時の反応生成物は主として揮発性のHCNであって、該HCNがエッチング表面から脱離することによってエッチングが進行すると考えられる。

【0112】また、プラズマを用いて異方性エッチングを行なう場合、エッチングは主としてイオンアシストエッチング反応の進行により実現されており、化学スパッタリング、物理スパッタリング及び熱化学反応等によるエッチングの進行はイオンアシストエッチング反応の進行に比べて極めて小さい。イオンアシスト反応とは、イオンがプラズマ中から離脱して被エッチング膜に飛来する際、イオンがプラズマ発生領域と被エッチング膜との間のプラズマシース領域の電界により加速されて被エッチング膜に衝突し、その衝撃エネルギーにより衝突部位の近傍において表面化学反応が促進される。イオンアシスト反応によるエッチングのメカニズムは大きく分けて次の2種類に分類される。

【0113】(第1のエッチングメカニズム) 被エッチング表面に、エッチング反応に関与する反応性ラジカルが物理吸着又は化学吸着している場合であって、この場合は、さらにつぎの3つの場合に分類できる。

【0114】第1は、イオンが吸着部の近傍に衝突して、イオンと吸着物質と被エッチング膜の材料とが互いに化学反応を起す場合である。

【0115】第2は、前記の吸着がさらに進んだ場合に起こり、被エッチング表面に薄い堆積膜ができた状態であって、この場合にもイオン衝撃によるイオンアシスト反応が効率良く進行し、高いエッチングレートが実現される。

【0116】第3は、堆積膜が厚くなってくる場合に起こり、飛来するイオンの大部分が堆積膜の除去に消費さ

れるので、エッチングレートは極端に低下する。また、堆積膜が所定値以上つまりイオン衝撃による除去が困難になる量以上に厚く堆積されると、イオンは堆積膜を除去することができないので、飛来してきたイオンと吸着物質と被エッチング膜の材料とが化学反応を起さなくなり、エッチングが停止する。

【0117】(第2のエッチングメカニズム) 被エッチング表面にエッチング反応に関与する反応性ラジカルが吸着していない場合であって、イオンが被エッチング表面に衝突し、衝突したイオンと被エッチング膜の材料とがイオン自身のエネルギーで直接に化学反応を起すことにより、イオンアシストエッチング反応が進行する。

【0118】図2(a)、(b)は第1の実施形態に係るエッチング方法による効果を説明するための図であって、図2(a)は $\text{N}_2$ と $\text{H}_2$ との混合ガス又は $\text{NH}_3$ ガスからなる従来のエッチングガスを用いた場合のエッチングメカニズムを示し、図2(b)は、第1の実施形態のエッチングガスつまり $\text{CH}_3\text{NH}_2$ ガスと $\text{N}_2$ との混合ガスを用いた場合のエッチングメカニズムを示している。

【0119】図2(a)、(b)において、1はシリコン基板を示し、2は被エッチング膜としての有機膜を示し、3はシリコン酸化膜からなるマスクパターンを示し、4、5はラジカル(ラジカルフラックス)(以下、原子も含めて活性のある反応性中性粒子をラジカルと総称する。)を示し、6はエッチングにより有機膜2に形成される凹部の壁面及び底面に堆積される堆積膜を示している。

【0120】ラジカル4、5は、電気的に中性粒子であるためプラズマからシリコン基板1に等方的に飛来する。尚、矢線はその一部を示している。これに対して、プラズマシース領域で加速されてシリコン基板1に飛来するイオンは、シリコン基板1に対して垂直に入射する。

【0121】 $\text{N}_2$ と $\text{H}_2$ との混合ガスからなるプラズマを用いる場合(図2(a)に示す場合)、生成されるラジカルとしては、 $\text{N}$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{H}$ 及び $\text{H}_2$ が考えられ、 $\text{NH}_3$ ガスからなるプラズマを用いる場合、生成されるラジカルとしては、 $\text{N}$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{H}$ 及び $\text{H}_2$ のほかに、 $\text{NH}$ 、 $\text{NH}_2$ 及び $\text{NH}_3$ が考えられる。このため、 $\text{NH}_3$ ガスを用いる場合には、 $\text{N}_2$ と $\text{H}_2$ との混合ガスを用いる場合に比べて、生成されるラジカルの量が多いため、エッチング表面における付着物も多少増加すると考えられる。

【0122】ところが、エッチング表面にプラズマから照射されるイオンの衝撃に耐えるほどの厚さを有する堆積物を、前述のラジカルにより形成することは困難である。

【0123】従って、凹部の底面であるエッチング表面で起きるエッチング反応は、エッチング表面に僅かに付着している原子又は分子と有機膜の表面の原子とが、プラズマから飛来してくるイオンによるイオンアシスト反

応によりエッチングされる反応(第1のエッチングメカニズムの第1の場合)、又はイオンとエッチング表面とが反応するエッチング反応(第2のエッチングメカニズムの場合)が主体になると思われる。特に、従来の $N_2$ と $H_2$ とからなるプラズマによるエッチング方法においては、第2のエッチングメカニズムによるエッチングの進行が支配的であると考えられる。

【0124】ところで、水素イオンは、原子半径及び慣性質量が小さいため、エッチング表面に入射しても、反応することなく有機膜の内部に入射してしまう可能性が高い。このため、窒素イオン及びアンモニアフラグメント(アンモニア分子から解離分解して発生した分子及び原子)のイオン等が、イオンアシスト反応を促進する原動力になると考えられる。

【0125】第1の実施形態のように、 $CH_3NH_2$ と $N_2$ との混合ガスからなるプラズマを用いると、 $N$ 、 $N_2$ 、 $H$ 、 $H_2$ 、 $NH$ 、 $NH_2$ 、 $NH_3$ に加えて、 $C$ 、 $C$ 、 $H$ 、 $CH_2$ 、 $CH_3$ 、 $CH_4$ 及び $CN$ 等のラジカルが生成される。つまり、第1の従来例に比べて異なる第1の点は、 $CH_x$  ( $x=1, 2, 3$ )のラジカルが存在することである。これらのラジカルは、エッチング表面でポリマーを形成し易いため、エッチング表面に堆積膜6が形成され、適度な厚さを持つ堆積膜6は表面反応層としての機能を持つため、イオンアシスト反応を効率良く生じさせる原動力となるので、第1のエッチングメカニズムの第2の場合によるエッチングが進行する。

【0126】第1の実施形態においては、エッチング反応の大部分は、第1のエッチングメカニズムの第2の場合によるものである。もっとも、第2のエッチングメカニズムによるエッチング反応も少し存在している。

【0127】第1の実施形態においては、エッチングガスが、第1の従来例に係るエッチングガスと異なり、炭素、水素及び窒素からなる分子である $CH_3NH_2$ を含んでいるため、凹部の壁面及び底面(エッチング表面)に堆積膜6を形成できるので、エッチング反応に必要な原子を堆積膜6という形でエッチング表面に固定し且つ供給することができる。その結果、イオンが直接に衝突する確率が極めて小さい凹部の壁面においては、堆積膜6はイオンアシスト反応を阻止する側壁保護膜として働くため、凹部の断面は順テーパ形状になる。

【0128】また、多くのイオンが衝突する凹部の底面においては、底面に形成された堆積膜6と衝突するイオンとによるイオンアシスト反応(第1のエッチングメカニズムの第2の場合)が起こるので、エッチングが効率良く進行する。言い換えると、堆積膜6の厚さ分だけ有機膜2の凹部の底面積が減少しながらエッチングが進行するので、凹部の断面は順テーパ形状になる。

【0129】以上説明したように、第1の従来例に係るエッチング方法が、第2のエッチングメカニズム又は第1のエッチングメカニズムの第1の場合を主体とするエ

ッチング方法であるのに対して、第1の実施形態に係るエッチング方法は、第1のエッチングメカニズムの第2の場合を主体とするエッチングであるという点で、第1の実施形態に係るエッチング方法は、第1の従来例に係るエッチング方法と根本的に異なる。

【0130】以下、 $CH_3NH_2$ と $N_2$ との混合ガス中における $N_2$ の働きについて説明する。

【0131】前述のように、 $CH_3NH_2$ は、エッチング表面に $CH_x$  ( $x=1, 2, 3$ )のラジカルを供給し、適度の厚さを持つ堆積膜をエッチング表面及び凹部の壁面に形成する働きを持っているのに対して、 $N_2$ は、イオンアシスト反応の原動力となる $N$ イオン及び $N_2$ イオンを供給する働きを持っている。言い換えると、 $N_2$ は、 $CH_3NH_2$ のみからなるエッチングガスにおいて不足する $N$ イオン及び $N_2$ イオンを補充する役割を担っている。図1(b)に示すように、 $CH_3NH_2$ を100%にすると、順テーパ形状の角度は大きくなり、凹部の底面の大きさは凹部の開口部の大きさよりも著しく小さくなる。ところが、 $N_2$ を適量混合することにより、テーパ角度を制御することができる。以下、 $CH_3NH_2$ に $N_2$ を混合することにより得られる2つの効果について説明する。

【0132】第1の効果は、プラズマを生成するエッチングガスにおける原子の組成比つまり $C:H:N$ が変化し、プラズマ中で生成される $CH_x$ と $N$ とのラジカル比率及び $CH_x$ と $N_2$ とのラジカル比率が変化する。すなわち、窒素系のラジカルの比率が増大すると共に、窒素系イオンの比率が増大する。

【0133】第2の効果は、堆積膜6を形成する原動力である $CH_x$ ラジカルの総量が低下すると共に、堆積膜を除去する方向に働く窒素系のラジカル及びイオンが増大するため、これらの相乗効果によって、時間平均的に凹部の壁面に形成される堆積膜の厚さが薄くなり、その結果としてテーパ角度が小さくなり、これにより、凹部の断面は垂直形状に近づく。

【0134】第1の実施形態において、 $CH_3NH_2$ ガスの流量と $N_2$ ガスの流量とを互いに独立して供給できるようにすると、エッチングガスの総流量と、 $N_2$ ガスの混合割合とを互いに独立に調整できるので、テーパ形状の角度の微妙な制御が可能になる。

【0135】図3は、 $CH_3NH_2$ と $N_2$ との混合ガスにおける $CH_3NH_2$ の割合と、有機膜のエッチングレートとの関係を示しており、図3から、 $CH_3NH_2$ が30%以上含まれている場合には、エッチングレートが殆ど変化しないことが分かる。

【0136】従って、混合ガス中の $CH_3NH_2$ との割合を変化させて、テーパ形状の角度を制御しても、ほぼ一定のエッチングレートが得られるので、第1の実施形態に係る有機膜のエッチング方法は、プロセスの制御性に優れているといえる。

【0137】以上説明したように、第1の実施形態に係る有機膜のエッチング方法によると、有機膜に、順テーパー形状の良好なパターン形状を持つ凹部を形成できると共に、ほぼ一定のエッチングレートを維持しながら、順テーパー形状の角度を制御することができる。

【0138】(第2の実施形態)以下、本発明の第2の実施形態に係る有機膜のエッチング方法について、図4及び図5(a)～(d)を参照しながら説明する。

【0139】第2の実施形態に係る有機膜のエッチング方法は、エッチングガスとして、メチルアミンと窒素ガスと水素ガスとの混合ガスを用い、該混合ガスから生成されたプラズマにより有機膜をエッチングする方法である。尚、第2の実施形態は、エッチングガス以外の条件については、第1の実施形態と同様であるから、ここでは、エッチングガスの条件についてのみ説明する。

【0140】エッチングガスの種類及び標準状態における1分間当たりの流量……(CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>):H<sub>2</sub>=x ml:(100-x) ml

図4は、エッチングガス中のメチルアミンガス及び水素ガスの標準状態における1分間当たりの流量(ml)比つまりCH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>=30 ml:70 mlの場合のホールの断面SEM写真を示している。尚、図4において、1はシリコン基板を示し、2は被エッチング膜としての有機膜を示し、3はシリコン酸化膜からなるマスクパターンを示している。

【0141】図4から分かるように、エッチングガス中に水素ガスを50%以上混合しても、順テーパー形状が得られることが分かる。

【0142】従って、エッチングガスとして、メチルアミンと窒素ガスと水素ガスとの混合ガスを用いても、第1の実施形態と同様、順テーパー形状が得られると言える。

【0143】ここで、再度、有機膜に対するエッチングのメカニズムの原点について説明する。

【0144】有機膜のエッチングは、有機膜中の炭素及び水素をイオンアシスト反応により揮発性の化合物に変化させると共に、生成された揮発性化合物をエッチング表面から脱離させ、脱離した揮発性化合物を排出することにより、エッチング反応が進行していく。

【0145】例えば、炭素は、C+H+N→HCN↑の化学反応により、揮発性化合物を生成し、水素は、H+H→H<sub>2</sub>↑の化学反応により、揮発性化合物を生成する。

【0146】有機膜のエッチングにおいては、炭素をどのようにして除去するかが特に重要であり、上記の化学反応式から分かるように、エッチング表面の炭素の量1に対して、窒素及び水素の量がそれぞれ1になる割合で混合した場合に最も効率良くエッチング反応が進行することが分る。すなわち、エッチングガス中における窒素及び水素の混合割合を最適化することにより、エッチレー

トを最大にできることが分る。

【0147】図5(a)～(d)は、第2の実施形態に係る有機膜エッチング方法の効果を説明する図であって、図5(a)～(d)は、有機膜に対して同一の時間だけエッチングしたときの凹部の断面形状を示している。

【0148】図5(a)、(b)は、(CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>)ガスから生成されたプラズマによりエッチングを行なった場合の断面形状を示し、図5(a)はエッチングガス中におけるN<sub>2</sub>の割合が多い場合であり、図5(b)はエッチングガス中におけるN<sub>2</sub>の割合が少ない場合である。

【0149】第1の実施形態において説明したように、エッチングガス中のCH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>及びN<sub>2</sub>の混合割合を変化させることによってテーパー形状の角度を制御できる。N<sub>2</sub>の混合割合が多い場合には、図5(a)に示すように、ほぼ垂直形状であり且つボウイング形状でない凹部7Aが得られ、N<sub>2</sub>の混合割合が少ない場合には、図5(b)に示すように、順テーパー形状の凹部7Bが得られる。

【0150】図5(c)、(d)は、(CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>)ガスから生成されたプラズマによりエッチングを行なった場合の断面形状を示し、図5(c)はエッチングガス中におけるN<sub>2</sub>の割合が多い場合に形成される凹部7Cの断面形状を表わし、図5(d)はエッチングガス中におけるN<sub>2</sub>の割合が少ない場合に形成される凹部7Dの断面形状を表わす。

【0151】第2の実施形態に係る有機膜のエッチング方法において、CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>ガスの流量、N<sub>2</sub>ガスの流量及びH<sub>2</sub>ガスの流量を互いに独立して供給できるようにすると、エッチングガスの総流量並びにエッチングガス中におけるCH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>及びH<sub>2</sub>の各混合割合を互いに独立して調整することができる。従って、エッチング表面に供給されるCH<sub>x</sub>、N及びHの量をエッチング反応が最も効率良く生じる割合に調整できる。

【0152】図5(c)及び(d)に示すように、第1の実施形態で得られたテーパー形状の角度制御性を維持したまま、エッチングレートが向上するような条件に最適化することが容易になる。

【0153】前述したように、H<sub>2</sub>を多量に混合した場合でもテーパー形状の角度が変化しないので、第2の実施形態のように、(CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>+N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>)ガスから生成されたプラズマによりエッチングを行なう場合においても、テーパー形状に影響を与える要因はN<sub>2</sub>であることが分かる。従って、第1の実施形態において説明したテーパー形状の制御メカニズムが正しいことを確認できる。

【0154】前述したように、水素イオンは原子半径及び慣性質量が小さいため、エッチング表面に堆積膜がない場合には、大部分の水素イオンは有機膜の表面に留まることなく内部に入射する。ところが、エッチング表面

に堆積膜がある場合には、水素イオンが堆積膜と衝突するため、堆積膜の内部、及び堆積膜と有機膜との界面であるエッチング表面近傍の水素濃度を高めることができるので、エッチングガス中の水素の混合割合を調整することにより、エッチング表面における水素濃度を調整することができる。

【0155】尚、第2の実施形態は、あくまでも ( $\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{N}_2$ ) ガスをベースにするエッチングガスを用いるものであって、エッチングガス中における ( $\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{N}_2$ ) ガスの混合割合が50%以上である場合に、 $\text{H}_2$  ガスの添加が効果を発揮するものである。

【0156】以上説明したように、第2の実施形態によると、( $\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{N}_2 + \text{H}_2$ ) ガスを用いると共に、 $\text{CH}_3\text{NH}_2$ 、 $\text{N}_2$  及び  $\text{H}_2$  の各混合割合を調整することにより、 $\text{N}_2$  ガスの混合によるテーパ形状の角度制御と、 $\text{H}_2$  ガスの混合によるエッチングレートの向上とを図ることができる。

【0157】(第3の実施形態)以下、本発明の第3の実施形態に係る有機膜のエッチング方法について、図6(a)、(b)を参照しながら説明する。

【0158】第3の実施形態に係る有機膜のエッチング方法は、エッチングガスとして、メチルアミンとアンモニア ( $\text{NH}_3$ ) ガスとの混合ガスを用い、該混合ガスから生成されたプラズマにより有機膜をエッチングする方法である。尚、第3の実施形態は、エッチングガス以外の条件については、第1の実施形態と同様であるから、ここでは、エッチングガスの条件についてのみ説明する。

【0159】エッチングガスの種類及び標準状態における1分間当たりの流量…… $\text{CH}_3\text{NH}_2 : \text{NH}_3 = x \text{ ml} : (100-x) \text{ ml}$

図6(a)、(b)は、( $\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{NH}_3$ ) ガスから生成されたプラズマによりエッチングを行なった場合の断面形状を示し、図6(a)はエッチングガス中における  $\text{NH}_3$  の割合が多い場合に形成される凹部8Aの断面形状を表わし、図6(b)はエッチングガス中における  $\text{NH}_3$  の割合が少ない場合に形成される凹部8Bの断面形状を表わす。

【0160】第3の実施形態に係る有機膜のエッチング方法によると、 $\text{N}_2$  及び  $\text{H}_2$  の混合割合を調整することはできないが、 $\text{NH}_3$  の混合割合を調整することにより窒素の混合割合を調整できるので、テーパ形状の角度の制御を維持することができる。また、同時に、窒素に従属した形ではあるが、水素の混合割合も調整できるため、エッチングレートの向上を図ることができる。

【0161】(第4の実施形態)以下、本発明の第4の実施形態に係る有機膜のエッチング方法について、図7(a)、(b)を参照しながら説明する。

【0162】第4の実施形態に係る有機膜のエッチング方法は、エッチングガスとして、メチルアミンガスと窒

素ガスとアルゴンガスとの混合ガスを用い、該混合ガスから生成されたプラズマにより有機膜をエッチングする方法である。尚、第4の実施形態は、エッチングガス以外の条件については、第1の実施形態と同様であるから、ここでは、エッチングガスの条件についてのみ説明する。

【0163】エッチングガスの種類及び標準状態における1分間当たりの流量…… $\text{CH}_3\text{NH}_2 : \text{N}_2 : \text{Ar} = x \text{ ml} : (100-x) \text{ ml} : 200 \text{ ml}$

図7(a)、(b)は、有機膜のエッチング方法に用いられるプラズマ処理装置(NLDプラズマ装置)の概略断面構造を示し、図7(a)は第1～第3の実施形態に係るエッチング方法を長時間行なった場合を表わし、図7(b)は第4の実施形態に係るエッチングを長時間行なった場合を表わしている。

【0164】図7(a)、(b)において、21は円筒状の反応室であって、該反応室21の上部は円筒状の石英管21aにより覆われている。22は1本のループ状コイルからなる誘導結合コイルである。23は高周波電源であって、誘導結合コイル22を励起して誘導結合によりプラズマを生成させるためのものである。24は絶縁体であり、25は下部電極であって、下部電極25はウエハ26を保持する。27は低周波から中周波の電磁波を供給する低周波電源であって、例えば、800kHz～2MHz程度の周波数の電磁波を供給する。低周波電源27から発生した電磁波は絶縁体24を介して下部電極25に印加される。また、絶縁体24は下部電極25を電気的に絶縁分離している共に、反応室21を真空に保つように真空シールを介して反応室21に接合されている。28はガス供給口であり、生成するプラズマの主体となるガスを供給するためのものである。29はガス排気口であり、反応室21を一定の圧力になるように排気するためのものである。30は磁気コイルであり、磁気中性線を形成するものである。

【0165】第1～第3の実施形態に係る有機膜のエッチング方法を長時間行なうと、図7(a)に示すように、反応室21の内壁面には、反応生成物及びプラズマ中のガスを主たる成分とする堆積膜20が形成されるが、第4の実施形態に係る有機膜のエッチング方法、つまりアルゴンガスが添加されたエッチングガスを用いると、長時間のエッチングを行なっても、図7(b)に示すように、反応室21の内壁面には堆積膜20が形成され難くなる。

【0166】ところで、反応室21の内壁面に堆積膜20が形成されると、パーティクルの発生量が増加する等の問題が起きるので、以下のような対策を講じている。

【0167】まず、所定時間のエッチングを行なった後、酸素を主体とするプラズマクリーニングを行なって堆積膜20を除去し、その後、所定のエッチング処理と同じプラズマ条件でダミー放電を行なって反応室21の



内壁面を整える必要がある。このようにすることにより、ある程度の期間内であれば反応室21の内部をプラズマエッチングに必要な状態に保つことはできる。

【0168】また、プラズマクリーニングを行なっても、パーティクルの発生量を低減できない場合には、反応室21を大気に解放して、アルコール等の有機溶剤によるクリーニングを行なう。

【0169】従って、反応室21の内壁面に付着する堆積膜20の量が少なければ少ないほどクリーニング頻度を低減できるので、反応室21を長期間に亘って安定な状態に保つことができる。このため、堆積膜20を低減するエッチング方法は、半導体装置の製造プロセスにおいて非常に有益である。

【0170】第4の実施形態のように、第1の実施形態に係るエッチングガスに、エッチングガスの総流量の半分以上の流量のArを添加すると、堆積膜20を大きく低減できる。

【0171】以下、第4の実施形態によると、堆積膜20の量を大きく低減できる理由について説明する。

【0172】第1の理由は、反応室21の内部におけるエッチングガス ( $\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{N}_2$ ) の分圧及びエッチングガスから解離生成されたガスの分圧が低下するためである。

【0173】第2の理由は、反応室21の内部に生成されるガスの滞在時間 (反応室21の圧力及び容積に比例し且つガス流量に反比例する。) が減少して、堆積膜の増大に寄与するガスが効率良く排出されるためである。

【0174】尚、反応室21の壁面が希薄なプラズマと接しているのに対して、エッチング処理される半導体ウエハ26は、プラズマ密度が高く且つプラズマによりエッチング反応生成物が生成されている領域と接しているため、Arを添加してもエッチング特性が大きく損われることはない。また、Arはエッチング表面において窒素イオンと同様にイオンアシスト反応を促進する役割を演じる。

【0175】従って、第4の実施形態によると、エッチング特性を損なうことなく、反応室21の壁面に形成される堆積膜の量を低減することができる。

【0176】尚、第4の実施形態は、エッチングガスにArを添加したが、Arに代えて、He、Ne、Xe、Kr又はRn等の希ガスを単独で又は組み合わせて添加しても同等の効果が得られる。

【0177】また、第4の実施形態においては、( $\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{N}_2$ ) ガスに希ガスを添加したが、これに代えて、( $\text{N}_2 + \text{H}_2$ ) ガス、 $\text{NH}_3$  ガス、( $\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{N}_2 + \text{H}_2$ ) ガス、( $\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{NH}_3$ ) ガス等の有機膜のエッチングが可能なガスに希ガスを添加しても、同等の効果が得られる。

【0178】(第5の実施形態) 以下、本発明の第5の実施形態に係る有機膜のエッチング方法について、図8

及び図9(a)～(d)を参照しながら説明する。

【0179】第5の実施形態に係る有機膜のエッチング方法は、エッチングガスとして、メチルアミンガスと酸素ガスとの混合ガスを用い、該混合ガスから生成されたプラズマにより有機膜をエッチングする方法である。

尚、第5の実施形態は、エッチングガス以外の条件については、第1の実施形態と同様であるから、ここでは、エッチングガスの条件についてのみ説明する。

【0180】エッチングガスの種類及び標準状態における1分間当たりの流量…… $\text{CH}_3\text{NH}_2 : \text{O}_2 = x \text{ ml} : (100 - x) \text{ ml}$

図8は、有機膜のエッチングにおいて、エッチングガスに酸素ガスを添加することにより得られる効果を説明する図であって、 $\text{O}_2$  の添加量と、180秒間のエッチングを行なった場合のエッチング深さとの関係を示している。図8から分かるように、エッチングガスに $\text{O}_2$  を添加すると、エッチング深さつまりエッチングレートを増大させることができる。

【0181】図9(a)～(d)は、有機膜に対して同一の時間だけエッチングしたときの凹部の断面形状を示している。

【0182】図9(a)は、 $\text{CH}_3\text{NH}_2$  ガスから生成されたプラズマによりエッチングを行なった場合に形成される凹部9Aの断面形状を示し、図9(b)は、 $\text{O}_2$  ガスから生成されたプラズマによりエッチングを行なった場合に形成される凹部9Bの断面形状を示している。

【0183】図9(a)から分かるように、 $\text{CH}_3\text{NH}_2$  が100%であると、凹部9Aの断面は順テーパ形状になるが、エッチングレートは必ずしも大きくない。また、図9(b)から分かるように、 $\text{O}_2$  が100%であると、エッチングレートは大きい、凹部9Bの断面はボウイング形状になる。

【0184】従って、 $\text{CH}_3\text{NH}_2$  と $\text{O}_2$  とが混合されたエッチングガスを用いると、両方の特性を併せ持つことができる。また、 $\text{CH}_3\text{NH}_2$  及び $\text{O}_2$  のいずれかの混合割合を大きくすると、混合割合の多いガスの特性が大きく現われる。

【0185】エッチングガスに添加される $\text{O}_2$  は、少量でもその特性を発揮するので、エッチングガスにおける $\text{CH}_3\text{NH}_2$  ガスの混合割合はほぼ80%よりも大きいことが好ましい。このようにすると、 $\text{CH}_3\text{NH}_2$  ガスによるエッチング特性である順テーパ形状と、 $\text{O}_2$  ガスの添加により得られるエッチングレートの向上との効果を同時に得ることが可能になる。

【0186】図9(c)、(d)は、 $\text{CH}_3\text{NH}_2$  ガスに $\text{O}_2$  ガスが添加されてなるエッチングガスから生成されたプラズマによりエッチングを行なった場合の断面形状を示し、図9(c)はエッチングガス中の $\text{O}_2$  の割合が相対的に多い場合に形成される凹部9Cの断面形状を表わし、図9(d)はエッチングガス中の $\text{O}_2$  の割合が相



対的に少ない場合に形成される凹部 9 D の断面形状を表わしている。

【0187】図 9 ( c ) に示すように、 $O_2$  の割合が相対的に多い場合には、凹部 9 C の断面はほぼ垂直形状になり、また、図 9 ( d ) に示すように、 $O_2$  の割合が相対的に少ない場合には、凹部 9 D の断面は順テーパ形状になる。

【0188】第 5 の実施形態によると、 $CH_3NH_2$  ガスに  $O_2$  ガスが添加されてなるエッチングガスを用いるため、凹部の断面の順テーパ形状とエッチングレートの向上とを同時に実現でき、 $O_2$  の添加量が少ないときには凹部の断面は垂直形状に近づくがエッチングレートの増大量は抑制され、逆に  $O_2$  の添加量が多いときには凹部の断面は順テーパ形状になるがエッチングレートは向上する。また、 $O_2$  の添加効果は、凹部の径寸法又は幅寸法が微細になるほど大きくなる。

【0189】ところで、凹部の径又は幅の寸法が  $0.25\mu m$  以下になると、凹部のアスペクト比が高くなるため、凹部の内部に供給されるラジカルの量が減少するのみならず、供給されるイオンの量も減少する。従って、従来のエッチング方法によると、エッチング表面（特に凹部の底面）に形成される堆積膜を除去するイオンの数が不足するため、エッチングレートが低下するという問題が発生する。

【0190】これに対して、第 5 の実施形態によると、エッチングガスに添加される  $O_2$  が堆積膜除去能力を発揮してエッチングレートの低下を防止するので、RIE Lag の増大を防止する効果も得られる。

【0191】また、エッチングガスに添加される  $O_2$  は、反応室 21 の内壁面に形成される堆積膜を低減させる効果も発揮することができる。

【0192】（第 6 の実施形態）以下、本発明の第 6 の実施形態に係る有機膜のエッチング方法について、図 10 ( a )、( b ) を参照しながら説明する。

【0193】第 6 の実施形態に係る有機膜のエッチング方法は、エッチングガスとして、メチルアミンガスと酸素ガスとアルゴンガスとの混合ガスを用い、該混合ガスから生成されたプラズマにより有機膜をエッチングする方法である。尚、第 6 の実施形態は、エッチングガス以外の条件については、第 1 の実施形態と同様であるから、ここでは、エッチングガスの条件についてのみ説明する。

【0194】エッチングガスの種類及び標準状態における 1 分間当たりの流量…… $CH_3NH_2 : O_2 : Ar = x ml : (100 - x) ml : 200 ml$

第 6 の実施形態によると、エッチングガスに Ar が添加されているため、第 4 の実施形態で説明したように、反応室の内壁面に形成される堆積膜の成長速度を遅くするという第 1 の効果が得られるが、以下においては、凹部の断面を順テーパ形状にできるという第 2 の効果につい

て説明する。

【0195】図 10 ( a ) は、エッチングガス中のメチルアミンガス及びアルゴンガスの標準状態における 1 分間当たりの流量 ( ml ) 比つまり  $CH_3NH_2 : Ar = 30 ml : 70 ml$  の場合のホール断面 SEM 写真を示している。

【0196】図 10 ( a ) から分かるように、エッチングガス中の Ar の混合割合が 70 % であるにも拘わらず、ホールの断面は強く順テーパ形状になっている。また、図 1 ( b ) と図 10 ( a ) との対比から分かるように、 $CH_3NH_2$  に Ar が混合されている図 10 ( a ) の場合には、 $CH_3NH_2$  のみである図 1 ( b ) の場合に比べて、順テーパ形状の角度が大きくなっている。従って、 $CH_3NH_2$  に Ar を混合すると、凹部の順テーパ形状の角度を大きくできることが分かる。

【0197】図 10 ( b ) は、 $CH_3NH_2$  に Ar が混合されてなるエッチングガスを用いた場合のエッチングメカニズムを示している。

【0198】第 1 の実施形態において、既に説明したように、 $CH_3NH_2$  を主体とするエッチングガスから生成されたプラズマを用いる場合、凹部の壁面及び底面に  $CH_x$  (  $x = 1, 2, 3$  ) を主成分とする堆積膜が形成される。

【0199】ところが、エッチングガスに Ar を添加すると、Ar イオン 31 により、凹部の底面に形成されている堆積膜 32 がスパッタリングされて、放出物質 33 が弾き飛ばされる。放出物質 33 は凹部の壁面に付着して、凹部の壁面のエッチングを抑制する機能を持つ壁面保護膜 34 となるので、Ar が添加されていない場合に比べて壁面保護膜 34 の厚さが大きくなる。

【0200】もっとも、壁面保護膜 34 もまた Ar イオン 31 によってスパッタリングされるが、スパッタリングにより再放出される物質は凹部の壁面又は底面に再び付着する。この場合、凹部の底面は凹部の壁面に比べてイオンが照射される確率が極めて高いため、凹部の底面の堆積物の一部がスパッタリングにより再び放出されて壁面保護膜 34 となる効果の方が大きいので、壁面保護膜 34 の厚さはより大きくなる。

【0201】以上説明したように、エッチングガスに添加された Ar は凹部の断面を順テーパ形状にする効果を発揮する。

【0202】従って、第 6 の実施形態によると、エッチングレートを向上させるが凹部の断面をボウイング形状にする恐れがある  $O_2$  と、凹部の断面を順テーパ形状にする Ar とが混合されているため、プラズマの制御性が大きく向上する。尚、順テーパ形状を安定して得るには、 $O_2$  の添加量は約 20 % 以下であることが好ましい。

【0203】尚、以上の説明は、第 5 の実施形態におけるエッチングガスに Ar を添加する場合の効果である

が、第4の実施形態のように、エッチングガスにArが添加されている場合においても、第6の実施形態と同様の効果が得られる。

【0204】また、第6の実施形態は、エッチングガスにArを添加したが、第1の効果については、Arに代えて、He、Ne、Xe、Kr又はRnを単独で又は組み合わせで添加しても同等の効果が得られ、第2の効果については、Arに代えて、Ne、Xe、Kr又はRnを単独で又は組み合わせで添加しても同等の効果が得られる。Heでは第2の効果が得られ難い理由は、Heが慣性質量が小さいためスパッタリング効果を実現し難いためである。

【0205】また、第6の実施形態においては、 $\text{CH}_3\text{NH}_2$ ガスに希ガスを添加したが、これに代えて、 $(\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{N}_2)$ ガス、 $(\text{N}_2 + \text{H}_2)$ ガス、 $\text{NH}_3$ ガス、 $(\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{N}_2 + \text{H}_2)$ ガス、 $(\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{NH}_3)$ ガス等の有機膜のエッチングが可能なガスに希ガスを添加しても、同等の効果が得られる。

【0206】また、 $\text{CH}_3\text{NH}_2$ の特性を発揮できる程度の流量で $\text{CH}_3\text{NH}_2$ が混合されている限りにおいては、エッチングガスに他のガスを混合しても、第1～第6の実施形態で説明した効果は得られる。

【0207】また、第1～第6の実施形態においては、エッチングガスとしてメチルアミンを主成分とするガスを用いたが、これに限られず、炭素、水素及び窒素を含む化合物を主成分とするガスを広く用いることができ、例えばジメチルアミン (Dimethylamine :  $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ )、トリメチルアミン (Trimethylamine :  $(\text{CH}_3)_3\text{N}$ ) 又はエチルアミン ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$ ) を単独で又は組み合わせで用いても、メチルアミンと同様のエッチング特性が得られる。メチルアミン、ジメチルアミン、トリメチルアミン及びエチルアミンは、1気圧及び25℃ (常温) 下で気体として取り出せるため、非常に便利である。尚、メチルアミン、ジメチルアミン、トリメチルアミン及びエチルアミンの1気圧における沸点は、それぞれ、-6.3℃、+7.4℃、+2.9℃及び+16.6℃である。

【0208】また、エッチングガスとしては、メチルアミンを主成分とするガスに代えて、プロピルアミン (Propylamine :  $\text{C}_3\text{H}_7\text{NH}_2$ ) を主成分とするガスを用いることもできる。プロピルアミンの沸点は48.5℃であるから、プロピルアミンを1気圧下で気体として取り出すためには、およそ50℃以上に昇温しなければならないので、利便性は多少低下するが、プロピルアミンを取り出してプラズマ反応室に供給することができれば、メチルアミンと同様のエッチング特性が得られる。

【0209】また、現在の実用的技術 (加熱技術等) で気体として取り出すことが可能になれば、メチルアミンと同様のエッチング特性が得られるガスとしては以下のものが挙げられる。すなわち、ニトリル系のガスとして

は、

Acetonitrile ( $\text{C}_2\text{H}_3\text{N}$  : 1気圧における沸点: 81.8℃)、

Acrylonitrile ( $\text{C}_3\text{H}_3\text{N}$  : 1気圧における沸点: 78.5℃) 又は、

Propionitrile ( $\text{C}_3\text{H}_5\text{N}$  : 1気圧における沸点: 97.1℃) が挙げられ、ジアミン系のガスとしては、1,2-Ethanediamine ( $\text{C}_2\text{H}_8\text{N}$  : 1気圧における沸点: 117.2℃) が挙げられ、

炭素原子を4個以上含むガスとしては、 $\text{C}_4\text{H}_5\text{N}$ 、 $\text{C}_4\text{H}_7\text{N}$ 、 $\text{C}_4\text{H}_{11}\text{N}$ 、 $\text{C}_5\text{H}_7\text{N}$ 及び $\text{C}_5\text{H}_9\text{N}$ 等が挙げられる。尚、1気圧における沸点については、 $\text{C}_4\text{H}_{11}\text{N}$ は70℃以下であるが、その他の化合物は、およそ100℃以上である。

【0210】また、前述の化合物以外に、気体として容易に取り出せると共にメチルアミンと同様のエッチング特性を実現できる化合物として、シアン化水素水 (通称青酸) (Hydrocyanic acid :  $\text{HCN}$ ) が挙げられるが、シアン化水素水は人体にとって猛毒であるため好ましくない。

【0211】以上説明したように、少なくとも炭素、水素及び窒素からなる化合物の中で最も実用上有益な化合物は、メチルアミン、ジメチルアミン、トリメチルアミン、エチルアミン又はプロピルアミンである。

【0212】また、プラズマエッチングに使用するガスは、基本的にプラズマの励起方法又は励起装置に応じて最適なものを選べばよい。また、高励起のプラズマ装置ほど高分子のガスを使用することができ、その選択範囲は広がる。すなわち、誘導結合型プラズマ装置、表面波プラズマ装置、NLD放電プラズマ装置、高周波を使用した容量結合型平行平板装置、ECRプラズマ装置等のように高励起が可能なプラズマ装置を使用する場合、実際に使用する投入パワー (エネルギー) により、使用ガスを選ぶことができる。

【0213】また、第1～第6の実施形態においては、エッチングガスをNLD放電プラズマ装置に適用して得られた結果を用いてその効果を説明してきたが、第1の実施形態に係る有機膜のエッチング方法は、平行平板反応性イオンエッチング装置、狭ギャップ方式若しくは2周印加方式の平行平板型反応性イオンエッチング装置、マグネトロン・エンハンスド・反応性イオンエッチング装置、誘導結合型プラズマ装置、アンテナ結合型プラズマ装置、電子サイクロトロン共鳴プラズマ装置、表面波プラズマ装置等のいかなるプラズマ装置を用いる場合にも適用可能である。

【0214】(第7の実施形態) 以下、本発明の第7の実施形態に係る半導体装置の製造方法 (シングルダマシン法) について、図11(a)～(d)及び図12(a)～(d)を参照しながら説明する。

【0215】まず、図11(a)に示すように、半導体

基板111の上に、第1のバリアメタル層112、導電性膜113及び第2のバリアメタル層114の積層膜からなる配線を形成した後、該配線の上に有機膜115を形成し、その後、図12(b)に示すように、有機膜115の上にシリコン酸化膜116を形成する。

【0216】次に、周知のリソグラフィ技術を用いて、図11(c)に示すように、シリコン酸化膜116上にレジストパターン117を形成した後、シリコン酸化膜116に対してレジストパターン117をマスクとしてプラズマエッチング(ドライエッチング)を行なって、図11(d)に示すように、シリコン酸化膜116からなるマスクパターン116Aを形成する。プラズマエッチングに用いるエッチングガスの種類は特に限られないが、例えば、フルオロカーボン系のガスを用いることができる。

【0217】次に、第1～第6の実施形態と同様、炭素、水素及び窒素を含む化合物からなるガスを主成分とするエッチングガスから生成されたプラズマを用いて、有機膜115に対して、レジストパターン117及びマスクパターン116Aをマスクとしてプラズマエッチングを行なって、図12(a)に示すように、有機膜115に、順テーパ形状の断面を有し接続孔又は配線溝となる凹部118を形成する。このエッチングの条件は第1～第6の実施形態に係るエッチング方法と同様である。尚、レジストパターン117は有機化合物からなるので、有機膜115に対するエッチング工程において除去される。

【0218】次に、凹部118の内部及びマスクパターン116Aの上面を洗浄した後、図12(b)に示すように、スパッタ法により、凹部118の壁面にTiN又はTa<sub>2</sub>N<sub>5</sub>等からなる第3のバリアメタル層119を薄く形成する。この場合、第1～第6の実施形態に係るエッチングを行なって凹部118を形成したため、凹部118の断面は順テーパ形状になっているので、第3のバリアメタル層119における、マスクパターン116Aと有機膜115との境界近傍部(マスクパターン116Aの直下の部分)120及び凹部118の底部121には分離部(断線部)ができず一様に連続している。

【0219】次に、化学蒸着法又はメッキ法を用いて、図12(c)に示すように、凹部118の内部に導電性膜122を埋め込んだ後、化学機械研磨法により、導電性膜122における凹部118の外側に露出している部分を除去すると、図12(d)に示すように、接続プラグ又は配線123が得られる。その後、第7の実施形態を繰り返して行なって、接続プラグ又は配線を交互に形成すると、多層配線構造を得ることができる。

【0220】第7の実施形態によると、凹部118の断面が順テーパ形状になるため、第3のバリアメタル層119が一様に連続しているため、導電性膜122が均一に埋め込まれる。このため、電気特性が劣化しないので、

半導体装置の信頼性が向上する。

【0221】尚、第7の実施形態においては、導電性膜122としては、例えば、poly Si膜、W膜、AlCu膜、Cu膜、Ag膜、Au膜又はPt膜等を用いることができる。

【0222】また、第1のバリアメタル層112及び第2のバリアメタル層114としては、導電性膜113に適合する材料を選択すればよく、例えばTi膜とTiN膜との積層体又はTa膜とTa<sub>2</sub>N<sub>5</sub>膜との積層体等を用いることができる。

【0223】また、第2のバリアメタル層114に代えて、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜等の絶縁膜をバリア層として用いてもよい。この場合には、凹部118を形成する有機膜エッチングの後に、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜に対するエッチング工程を加えればよい。

【0224】また、第7の実施形態においては、マスクパターン116Aをシリコン酸化膜により形成したが、これに代えて、シリコン窒化膜により形成してもよいが、シリコン酸化膜よりも比誘電率が小さい材料を用いることが好ましい。このような観点からは、低誘電率材料であるa-SiC:H等を用いることが好ましい。

【0225】また、化学機械研磨法により導電性膜122を除去する際にマスクパターン116Aも除去する場合には、マスクパターン116Aを、比誘電率が大きい材料、例えばチタン等からなる導電性膜又はシリコン窒化膜若しくは窒化チタン膜等の金属窒化膜等から形成してもよい。

【0226】(第8の実施形態)以下、本発明の第8の実施形態に係る半導体装置の製造方法(デュアルダマシン法)について、図13(a)～(d)及び図14(a)～(c)を参照しながら説明する。

【0227】まず、図13(a)に示すように、半導体基板131の上に、第1のバリアメタル層132、導電性膜133及び第2のバリアメタル層134の積層膜からなる下層配線を形成した後、該下層配線の上に、第1の有機膜135、第1のシリコン酸化膜からなり接続孔形成用開口部を有する第1のマスクパターン136A、第2の有機膜138及び第2のシリコン酸化膜139を順次形成する。

【0228】次に、図13(b)に示すように、第2のシリコン酸化膜139の上に、配線溝形成用開口部を有するレジストパターン140を形成した後、第2のシリコン酸化膜139に対してレジストパターン140をマスクとしてエッチングを行なって、図13(c)に示すように、第2のシリコン酸化膜139からなる第2のマスクパターン139Aを形成する。

【0229】次に、第2の有機膜138及び第1の有機膜135に対して、第1～第6の実施形態と同様、炭素、水素及び窒素を含む化合物からなるガスを主成分とするエッチングガスから生成されたプラズマを用いてエ

エッチングを行なって、図13(d)に示すように、第2の有機膜138に第2のマスクパターン139Aを転写することにより配線溝141を形成すると共に、第1の有機膜135に第1のマスクパターン136Aを転写することにより接続孔142を形成する。このエッチングの条件は第1～第6の実施形態に係るエッチング方法と同様である。

【0230】第1～第6の実施形態と同様のエッチングを行なって接続孔142及び配線溝141を形成するため、接続孔142及び配線溝141の断面は順テーパー形状になっている。

【0231】ところで、第1の有機膜135に対してエッチングが行なわれている際に、実質的なマスクとなっている第1のマスクパターン136Aの上面及び開口部の壁面に堆積膜が形成されると共に、接続孔142が形成されてから第1の有機膜135に対してオーバーエッチングが行なわれている際に、接続孔142の壁面及び底面にも堆積膜が形成されるため、イオンスパッタリングにより第1のマスクパターン136Aの開口部が拡大される事態は防止される。

【0232】また、接続孔142の底面に露出している第2のバリアメタル層134の上に堆積されている薄い堆積膜は、第2のバリアメタル層134がイオンスパッタリングされる事態を防止又は抑制する。

【0233】これら2つの現象によって、第3の従来例において問題となったクラウン状の障壁243(図21(c))を参照)は形成されない。

【0234】次に、接続孔142及び配線溝141の内部及び第2のマスクパターン139Aの上面を洗浄した後、図14(a)に示すように、スパッタ法又はCVD法により、接続孔142及び配線溝141の壁面にTiN又はTa<sub>2</sub>N<sub>3</sub>等からなる第3のバリアメタル層143を薄く形成する。この場合、接続孔142及び配線溝141の断面が順テーパー形状であるため、第3のバリアメタル層143には分離部(断線部)ができず様に連続している。

【0235】次に、図14(b)に示すように、化学蒸着法又はメッキ法を用いて、接続孔142及び配線溝141の内部に導電性膜144を埋め込んだ後、化学機械研磨法により、導電性膜144における配線溝141の外側に露出している部分を除去すると、導電性膜144からなる接続プラグ144A及び上層配線144Bが得られる。

【0236】第8の実施形態によると、接続孔142及び配線溝141の断面が順テーパー形状であるため、第3のバリアメタル層143が一様に連続するので、導電性膜144が均一に埋め込まれ、良好な接続プラグ144A及び上層配線144Bを形成することができる。また、接続孔142の底面にクラウン状の障壁が形成されないため、接続プラグ144Aと下層配線との接続も良

好になる。

【0237】従って、第8の実施形態によると、信頼性の高い多層配線構造をデュアルダマシン法により形成することができる。

【0238】尚、第8の実施形態においては、下層配線を構成する導電性膜133及び上層配線を構成する導電性膜144としては、例えば、poly Si膜、W膜、AlCu膜、Cu膜、Ag膜、Au膜又はPt膜を用いることができる。

【0239】また、第1のバリアメタル層132、第2のバリアメタル層134及び第3のバリアメタル層143としては、導電性膜133及び導電性膜144と適合する材料を選択すればよく、例えばTi膜とTiN膜との積層体又はTa膜とTa<sub>2</sub>N<sub>3</sub>膜との積層体等を用いることができる。

【0240】また、第2のバリアメタル層134に代えて、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜等の絶縁膜をバリア層として用いてもよい。この場合には、接続孔142を形成する有機膜エッチングの後に、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>膜に対するエッチング工程を加えればよい。

【0241】また、第8の実施形態においては、第1のマスクパターン136A及び第2のマスクパターン139Aをシリコン酸化膜により形成したが、これに代えて、シリコン窒化膜により形成してもよいが、シリコン酸化膜よりも比誘電率が小さい材料を用いることが好ましい。このような観点からは、低誘電率材料であるa-SiC:H等を用いることが好ましい。

【0242】また、化学機械研磨法により導電性膜144を除去する際に第2のマスクパターン139Aも除去する場合には、第2のマスクパターン139Aを、比誘電率が大きい材料、例えばチタン等からなる導電性膜又はシリコン窒化膜若しくは窒化チタン膜等の金属窒化膜等から形成してもよい。

【0243】(第9の実施形態)以下、本発明の第9の実施形態に係るマスクパターンの形成方法(表面イメージングプロセス)について、図15(a)～(d)を参照しながら説明する。

【0244】まず、図15(a)に示すように、半導体基板151上に有機膜152を形成した後、該有機膜152上に被シリル化層153を形成する。

【0245】次に、図15(b)に示すように、被シリル化層153に対して、光を選択的に通過させるフォトマスク154を介して露光光155を照射することにより、被シリル化層153に選択的に変質層156を形成する。

【0246】次に、図15(c)に示すように、基板温度を上昇させた状態で、被シリル化層153の表面に気体状のシリル化剤157を供給して、被シリル化層153の非変質層(変質層156以外の部分)を選択的にシリル化することにより、シリル化層158を形成する。

【0247】尚、非変質層をシリル化する代わりに、変質層156をシリル化してシリル化層158を形成してもよいし、また、被シリル化層153を形成することなく、有機膜152の表面に直接にシリル化層158を形成してもよい。

【0248】次に、有機膜152に対して、シリル化層158をマスクとして、第1～第6の実施形態と同様、炭素、水素及び窒素を含む化合物からなるガスを主成分とするエッチングガスから生成されたプラズマを用いてエッチングを行なって、図15(d)に示すように、有機膜152からなる有機膜パターン152Aを形成する。

【0249】第9の実施形態によると、有機膜152に対して、炭素、水素及び窒素を含む化合物からなるガスを主成分とするエッチングガスを用いてプラズマエッチングを行なうため、有機膜パターン152Aに形成される凹部159の断面は順テーパ形状になる。すなわち、凹部159の断面が第4の従来例のようにボウイング形状にならず、良好な断面形状を持つ有機膜パターン152Aが得られるので、半導体基板151の上に形成されている被エッチング膜に対して高精度なエッチング加工を行なうことができる。

【0250】また、第9の実施形態によると、エッチングガスにデポジションガスを添加する必要がないため、RIE Lagを小さくすることができる。このため、微細なパターンを形成する場合でもエッチング量の許容範囲等のプロセスマージンを確保できると共に、オーバーエッチングの時間を短縮してパターン転写時の寸法変換差を低減できるので、微細なパターンを高精度に加工することが可能になる。

【0251】尚、第9の実施形態においては、半導体基板11として、シリコン基板を用いたが、これに代えて、液晶表示板等に使用するガラス基板又は化合物半導体からなる基板等を用いることができる。

【0252】

【発明の効果】第1の有機膜のエッチング方法によると、有機膜に順テーパ形状の凹部を形成できると共に、ほぼ一定のエッチングレートを維持しながら順テーパ形状の角度を制御することができる。

【0253】第2の有機膜のエッチング方法によると、有機膜に形成される凹部の断面を確実に順テーパ形状にできると共に、反応室内の内壁面に形成される堆積膜を低減して、反応室を安定な状態に保つことができる。

【0254】第3の有機膜のエッチング方法によると、エッチングレートを向上させながら、有機膜に形成される凹部の断面を順テーパ形状にすることができる。

【0255】第1の半導体装置の製造方法によると、凹部に導電性膜を確実に埋め込むことができるため、電気的特性に優れた接続プラグ又は埋め込み配線を形成することができると共に、凹部の順テーパ形状の角度を制御

することが可能になる。

【0256】第2の半導体装置の製造方法によると、凹部に導電性膜を確実に埋め込むことができるため、電気的特性に優れた接続プラグ又は埋め込み配線を形成することができると共に、反応室内の内壁面に形成される堆積膜を低減して、反応室を安定な状態に保つことができる。

【0257】第3の半導体装置の製造方法によると、凹部に導電性膜を確実に埋め込むことができるため、電気的特性に優れた接続プラグ又は埋め込み配線を形成することができると共に、エッチングレートを向上させることができる。

【0258】第1のパターンの形成方法によると、有機膜に順テーパ形状の断面を持つ開口部を形成できるので、被エッチング膜に対して高精度で且つプロセスマージンが大きいエッチングを行なうことができると共に、ほぼ一定のエッチングレートで有機膜パターンを形成することができる。

【0259】第2のパターンの形成方法によると、有機膜に順テーパ形状の断面を持つ開口部を形成できるので、被エッチング膜に対して高精度で且つプロセスマージンが大きいエッチングを行なうことができると共に、反応室内の内壁面に形成される堆積膜を低減して、反応室を安定な状態に保つことができる。

【0260】第3のパターンの形成方法によると、有機膜に順テーパ形状の断面を持つ開口部を形成できるので、被エッチング膜に対して高精度で且つプロセスマージンが大きいエッチングを行なうことができると共に、有機膜パターンを形成する際のエッチングレートを向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は、本発明の第1の実施形態に係る有機膜のエッチング方法により得られるホールの概略断面図であり、(b)～(f)は、本発明の第1の実施形態に係る有機膜のエッチング方法により得られるホールの断面SEM写真である。

【図2】(a)は、従来の有機膜のエッチング方法のメカニズムを説明する図であり、(b)は、本発明の第1の実施形態に係る有機膜のエッチング方法のメカニズムを説明する図である。

【図3】本発明の第1の実施形態に係る有機膜のエッチング方法において、エッチングガス中における $\text{CH}_3\text{N}$ 、 $\text{H}_2$ の混合割合と、有機膜のエッチングレートとの関係を示す図である。

【図4】本発明の第2の実施形態に係る有機膜のエッチング方法により得られるホールの断面SEM写真である。

【図5】(a)～(d)は、本発明の第2の実施形態に係る有機膜のエッチング方法の効果を説明する断面図である。

【図6】(a)、(b)は、本発明の第3の実施形態に係る有機膜のエッチング方法の効果を説明する断面図である。

【図7】(a)、(b)は本発明の各実施形態に係る有機膜のエッチング方法に用いられるプラズマ処理装置の概略断面図を示し、(a)は第1～第3の実施形態に係る有機膜のエッチング方法を行なった場合を示し、(b)は第4の実施形態に係る有機膜のエッチング方法を行なった場合を示す。

【図8】本発明の第5の実施形態に係る有機膜のエッチング方法において、エッチングガスに添加される酸素の量とエッチング深さとの関係を示す図である。

【図9】(a)～(d)は、本発明の第5の実施形態に係る有機膜のエッチング方法の効果を説明する断面図である。

【図10】(a)は、本発明の第6の実施形態に係る有機膜のエッチング方法により得られるホールの断面SEM写真であり、(b)は、本発明の第6の実施形態に係る有機膜のエッチング方法のメカニズムを説明する図である。

【図11】(a)～(d)は、本発明の第7の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図である。

【図12】(a)～(d)は、本発明の第7の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図である。

【図13】(a)～(d)は、本発明の第8の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図である。

【図14】(a)～(c)は、本発明の第8の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図である。

【図15】(a)～(d)は、本発明の第9の実施形態に係るマスクパターンの形成方法の各工程を示す断面図である。

【図16】(a)～(d)は、従来の有機膜のエッチング方法により得られるホールの断面SEM写真である。

【図17】(a)～(e)は、従来の半導体装置の製造方法(シングルダマシンプロセス)の各工程を示す断面図である。

【図18】(a)～(d)は、従来の半導体装置の製造方法(シングルダマシンプロセス)の各工程を示す断面図である。

【図19】(a)～(d)は、従来の半導体装置の製造方法(デュアルダマシンプロセス)の各工程を示す断面図である。

【図20】(a)～(c)は、従来の半導体装置の製造方法(デュアルダマシンプロセス)の各工程を示す断面図である。

【図21】(a)～(c)は、従来の半導体装置の製造

方法(デュアルダマシンプロセス)の各工程を示す断面図である。

【図22】(a)～(d)は、従来のマスクパターンの形成方法(表層イメージングプロセス)の各工程を示す断面図である。

【図23】(a)、(b)は、従来のマスクパターンの形成方法(3層レジストプロセス)により得られるホールの断面SEM写真である。

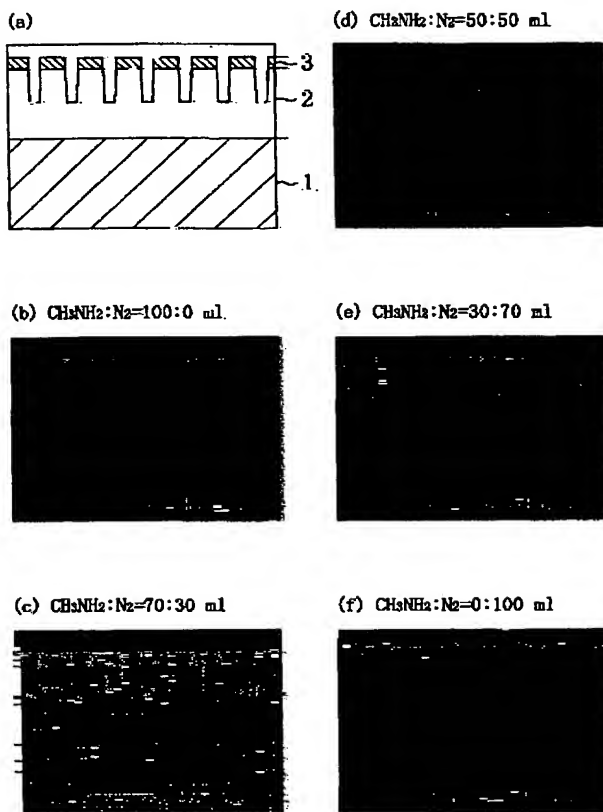
#### 【符号の説明】

- 1 シリコン基板
- 2 有機膜
- 3 マスクパターン
- 4 ラジカル
- 5 ラジカル
- 6 堆積膜
- 7A、7B、7C、7D 凹部
- 8A、8B 凹部
- 9A、9B、9C、9D 凹部
- 20 堆積膜
- 21 反応室
- 21a 石英管
- 22 誘導結合コイル
- 23 高周波電源
- 24 絶縁体
- 25 下部電極
- 26 ウエハ
- 27 低周波電源
- 28 ガス供給口
- 29 ガス排気口
- 30 磁気コイル
- 31 Arイオン
- 32 堆積膜
- 33 放出物質
- 34 壁面保護膜
- 111 半導体基板
- 112 第1のバリアメタル層
- 113 導電性膜
- 114 第2のバリアメタル層
- 115 有機膜
- 116 シリコン酸化膜
- 116A マスクパターン
- 117 レジストパターン
- 118 凹部
- 119 第3のバリアメタル層
- 120 マスクパターンと有機膜との境界近傍部
- 121 凹部の底部
- 122 導電性膜
- 131 半導体基板
- 132 第1のバリアメタル層
- 133 導電性膜

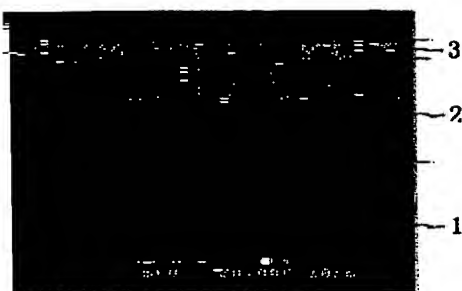
134 第2のバリアメタル層  
135 第1の有機膜  
136A 第1のマスクパターン  
138 第2の有機膜  
139 第2のシリコン酸化膜  
139A 第2のマスクパターン  
140 レジストパターン  
141 配線溝  
142 接続孔  
143 第3のバリアメタル層  
144 導電性膜  
144A 接続プラグ

144B 上層配線  
151 半導体基板  
152 有機膜  
152A 有機膜パターン  
153 被シリル化層  
154 フォトマスク  
155 露光光  
156 変質層  
157 シリル化剤  
158 シリル化層  
159 凹部

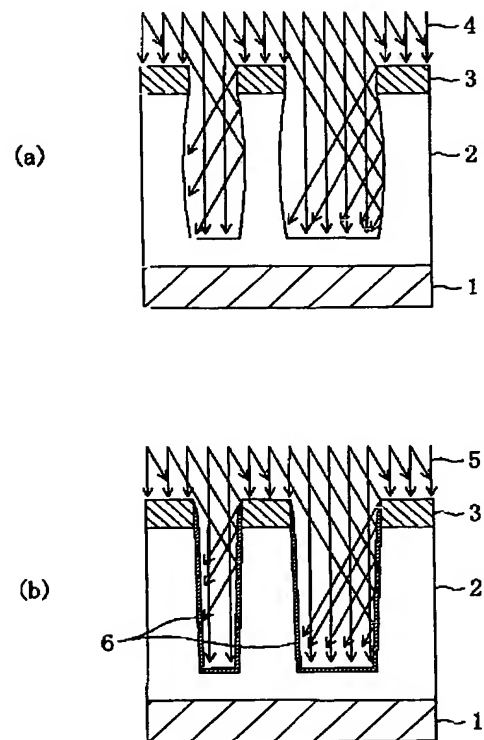
【図1】



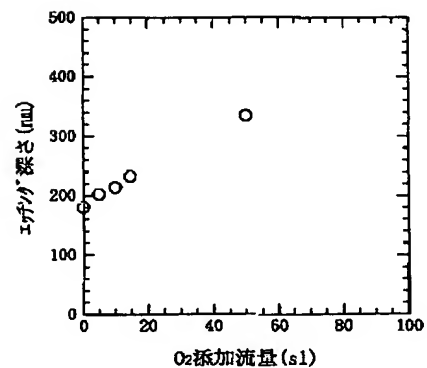
【図4】



【図2】

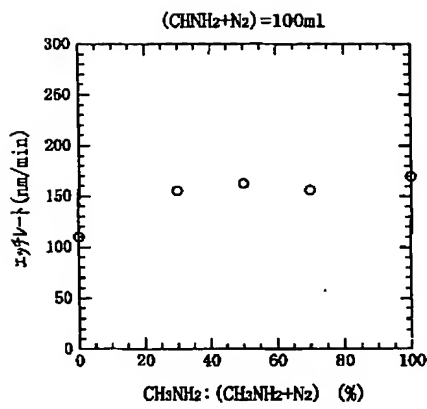


【図8】

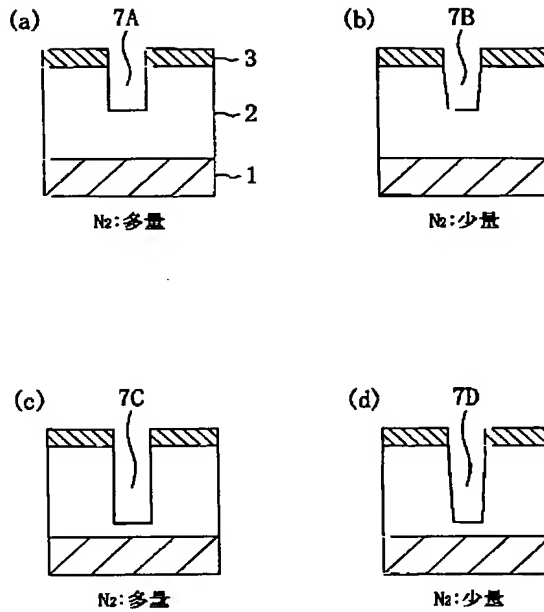




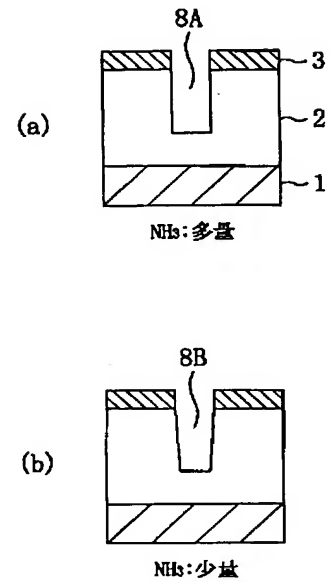
【図3】



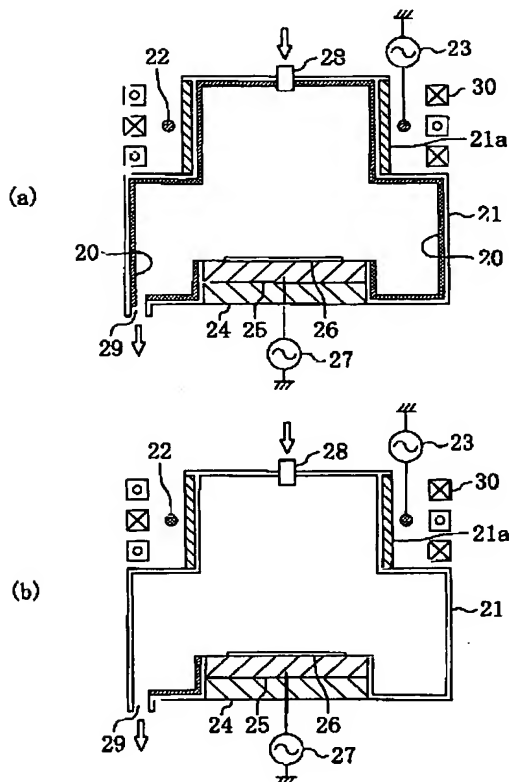
【図5】



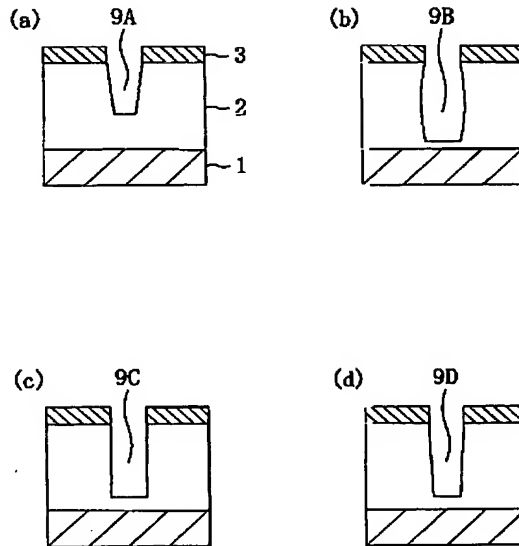
【図6】



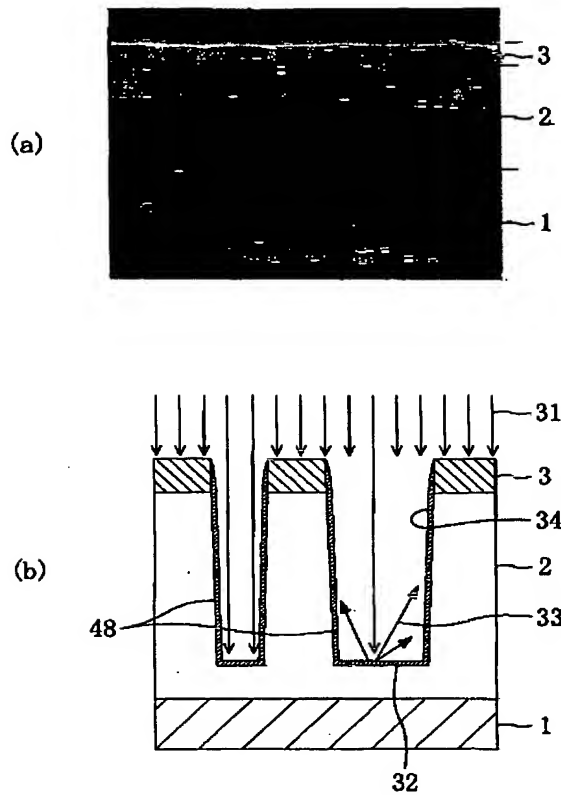
【図7】



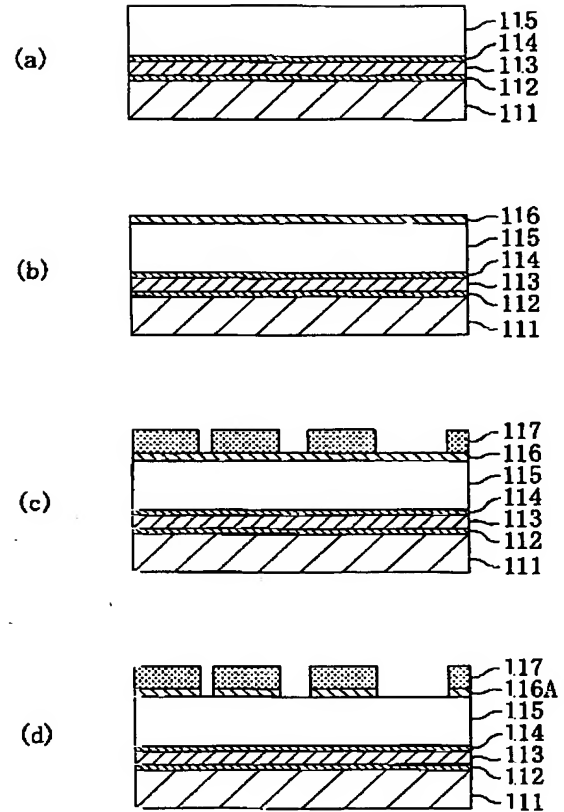
【図9】



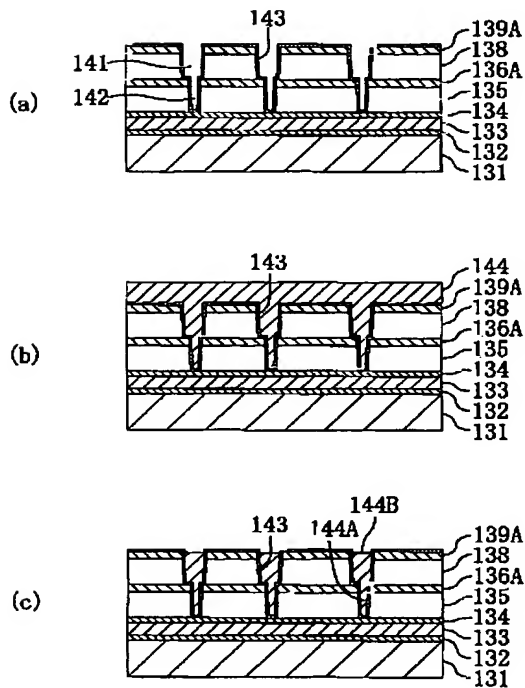
【図10】



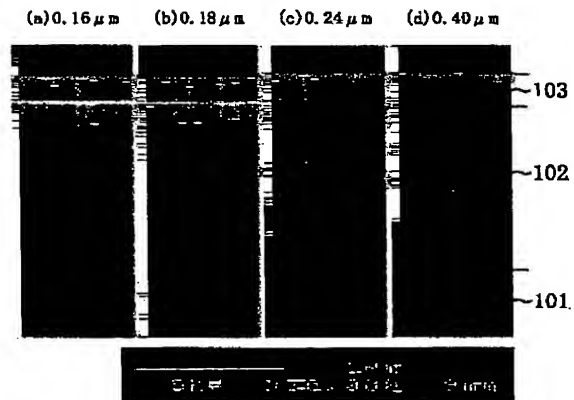
【図11】



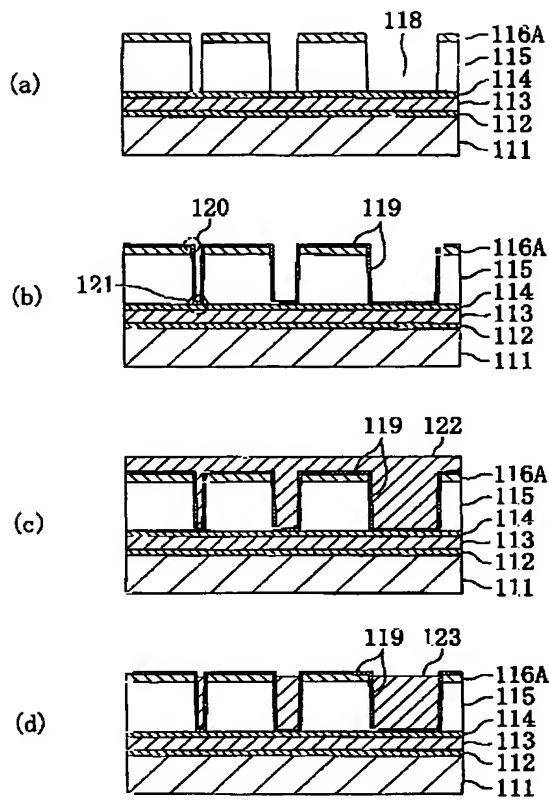
【図14】



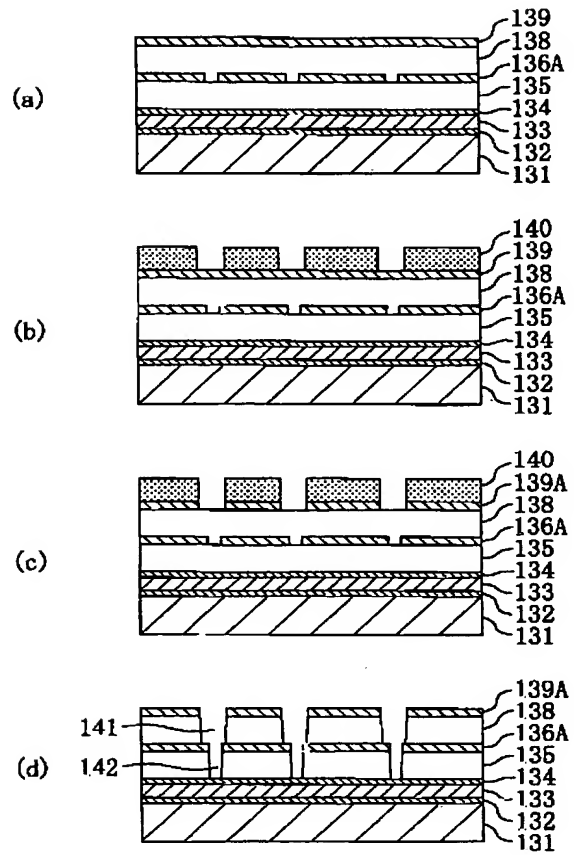
【図16】



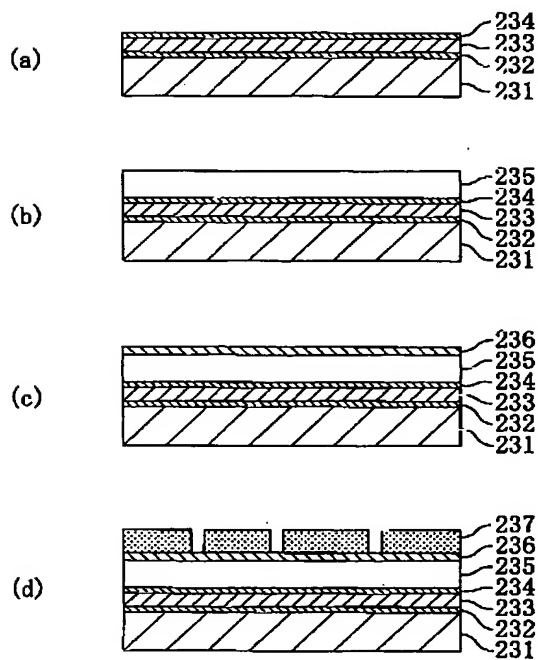
【図12】



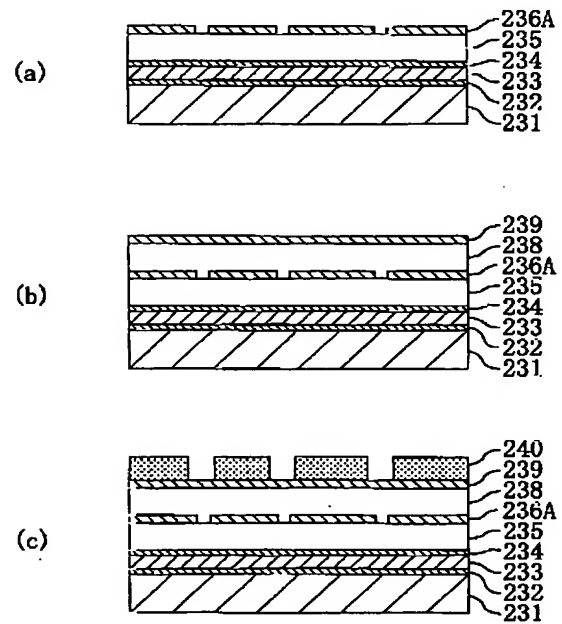
【図13】



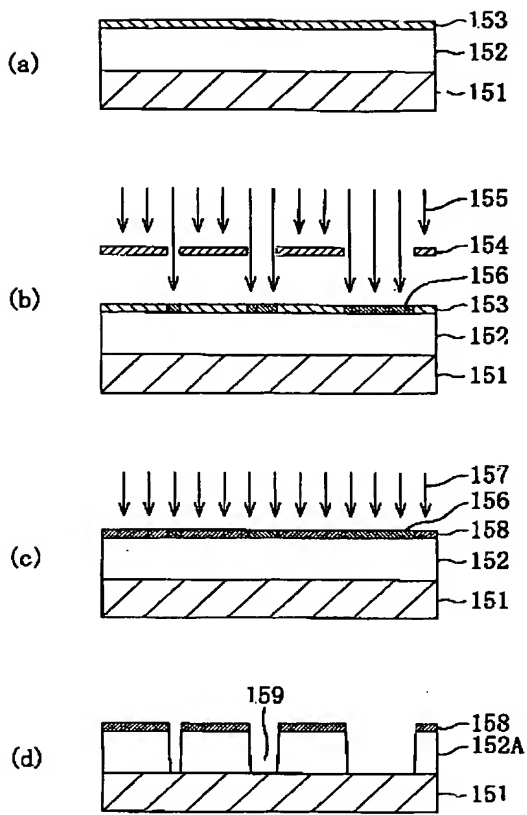
【図19】



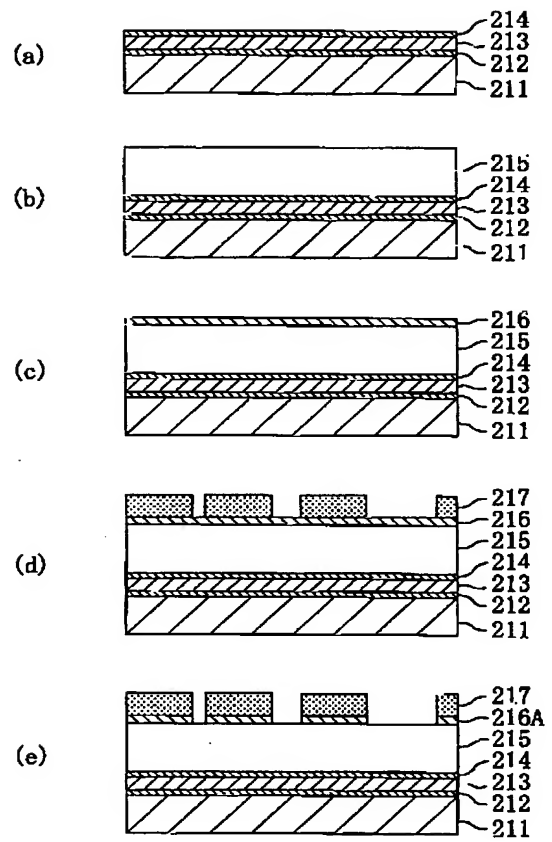
【図20】



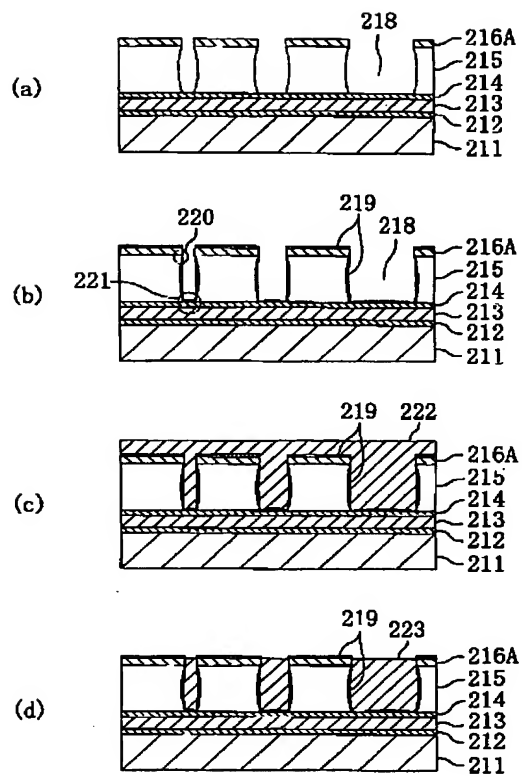
【図15】



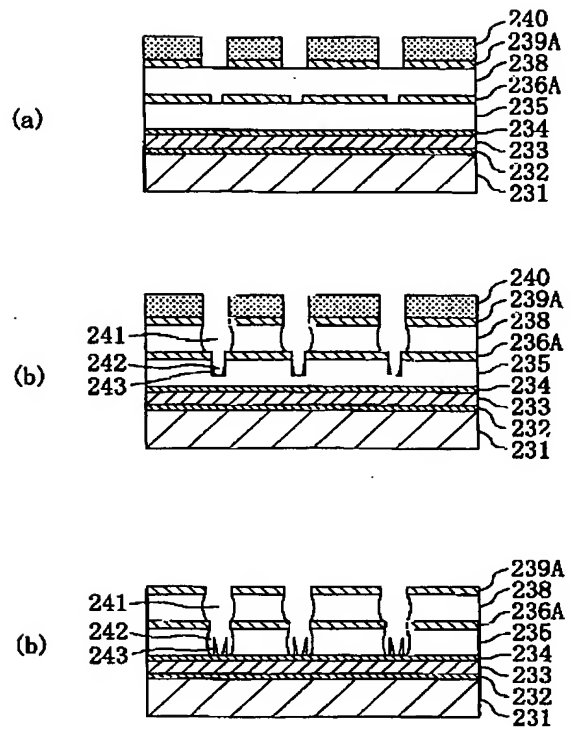
【図17】



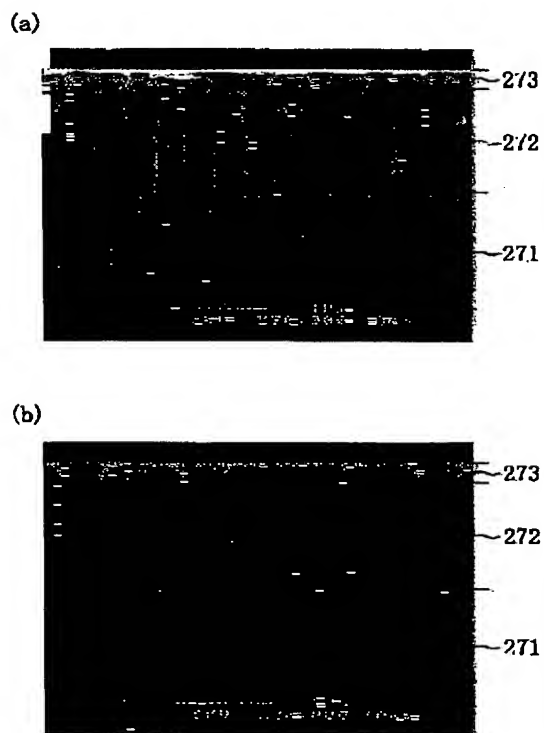
【図18】



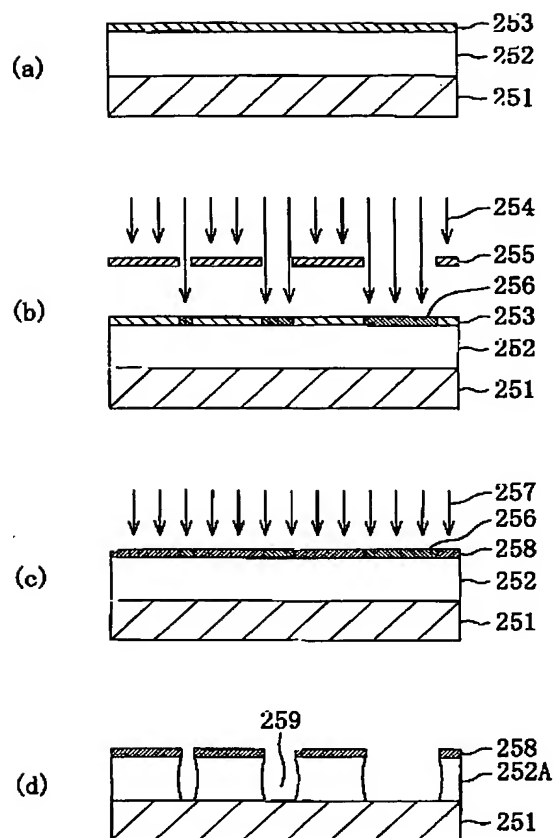
【図21】



【図23】



【図22】



フロントページの続き

(72)発明者 林 俊雄  
 神奈川県茅ヶ崎市萩園2500番地 日本真空  
 技術株式会社内  
 (72)発明者 森川 泰宏  
 神奈川県茅ヶ崎市萩園2500番地 日本真空  
 技術株式会社内

Fターム(参考) 2H096 AA25 HA24

5F004 AA16 BA04 BA14 BA20 CA02  
 DA22 DA23 DA24 DA25 DB23  
 EA04 EA06 EB01 EB03  
 5F033 HH04 HH07 HH09 HH11 HH13  
 HH14 HH19 HH32 HH33 JJ04  
 JJ07 JJ09 JJ11 JJ13 JJ14  
 JJ18 JJ19 JJ21 JJ32 JJ33  
 KK18 KK21 KK32 KK33 MM01  
 MM02 MM05 MM12 NN06 PP06  
 PP15 PP27 PP28 QQ09 QQ12  
 QQ13 QQ28 QQ30 QQ34 QQ48  
 QQ92 RR00 RR01 RR04 RR06  
 RR21 RR27 TT04 XX02  
 5F046 AA20 LB01 LB09